

# **PROJECTO DE EXECUÇÃO DE UM NÓ EM DIAMANTE COM ROTUNDAS NA ESPECIALIDADE DE GEOMETRIA DO TRAÇADO**

**RUI MÁRIO DE OLIVEIRA CORREIA**

Relatório de Projecto submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de  
**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM VIAS DE COMUNICAÇÃO**

---

Orientador: Professor Doutor Adalberto Quelhas da Silva França

JUNHO DE 2008

## **MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2007/2008**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ [miiec@fe.up.pt](mailto:miiec@fe.up.pt)

*Editado por*

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2007/2008 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2008*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor Doutor Adalberto Quelhas da Silva França pelos ensinamentos, disponibilidade paciência e, sobretudo, amizade demonstrada.





## **RESUMO**

É objectivo do presente trabalho o desenho e cálculo de um nó de ligação rodoviário em diamante, com rotundas na via secundária, para eliminação das manobras de atravessamento e viragem à esquerda.

O estudo é desenvolvido apenas na componente de geometria do traçado com recurso a programas informáticos de desenho e cálculo informático.

É o corolário de dois anos de formação na área das Vias de Comunicação do Mestrado Integrado de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Para a sua realização foram fundamentais os conhecimentos adquiridos nas disciplinas de Vias de Comunicação I, Vias de Comunicação II e nas diversas disciplinas que constituem a denominada Opção em Vias de Comunicação, ministradas no 5º ano do curso.

Pretende-se que o trabalho possa constituir um auxiliar prático para uma primeira abordagem ao projecto de um nó. Para isso são apresentados os conceitos fundamentais que o engenheiro rodoviário deverá dominar e exemplos ilustrativos da resolução de situações que um caso concreto coloca. A discussão é feita tanto a nível das questões de engenharia rodoviária (opções de traçado, geometria, aplicação de Normas, etc) como da sua aplicação em termos informáticos.

**PALAVRAS-CHAVE:** NÓ, DIAMANTE, TRAÇADO, INFORMÁTICO, PROJECTO



## **ABSTRACT**

The aim of the present work is the geometric design of a “diamond type” road intersection with roundabouts at the secondary roads, avoiding with these the annoyance of left turns and crossing movements.

The study is restricted to its geometric perspective, with intensive use of computerized tools, mainly specific software that is commercially available.

This work represents the culminant point of the course “Mestrado Integrado de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – área de Vias de Comunicação”. It was not possible to achieve it without all the knowledge acquired in the previous frequented disciplines of “Vias de Comunicação I and II” and also in the several other disciplines of the last 2 semesters of the course that constitute the so called “Opção em Vias de Comunicação”.

It is intension of the author that this work could be seen as an very practical help to a first approach to the intersection design problem. So, here are enclosed the fundamental theoretical concepts that should be available to any road designer but some illustrative examples based on an actual case too. Basically two different aspects are discussed: i) the road design in itself (macroscopic options for the design, geometry, compliance with standards of different levels, etc.); ii) use and control of related computer software.

**KEY WORDS:** ROAD, INTERCHANGE, DIAMOND, DESIGN, COMPUTERIZED, PROJECT



## ÍNDICE GERAL

Agradecimentos.....	i
Resumo .....	iii
Abstract .....	v
Índice Geral .....	vii
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. DADOS DE BASE .....	3
2.1. DEFINIÇÕES.....	3
2.2. UTILIZAÇÃO DO NORMATIVO .....	8
2.3. ESPECIFICAÇÕES DO PROJECTO .....	8
3. PROJECTO GEOMÉTRICO DO NÓ .....	11
3.1. INTRODUÇÃO.....	11
3.2. A INFORMÁTICA E A ENGENHARIA RODOVIÁRIA .....	11
3.3. A CRIAÇÃO DE UM PROJECTO EM CIVIL DESIGN .....	12
3.4. CONFIGURANDO UM DESENHO.....	16
3.5. O MODELO DIGITAL DO TERRENO .....	17
3.6. ALTERNANDO ENTRE O AUTOCAD (LAND) E O CIVIL DESIGN .....	19
3.7. O DESENHO DA PLANTA .....	20
3.7.1. O Desenho de eixos.....	20
3.7.2. A definição de eixos .....	24
3.7.3. A definição da Plena Via .....	25
3.7.4. A Localização e Definição das Rotundas e do Restabelecimento que as liga.....	27
3.7.5. A Anotação da Directriz .....	30
3.7.6. A Determinação da Posição de um Ponto relativamente a um Alinhamento .....	31
3.8. O PERFIL LONGITUDINAL.....	31
3.8.1. As Condicionantes Altimétricas .....	31
3.8.2. A Definição da Rasante da Rotunda 1.....	32
3.8.3. O Perfil Longitudinal do Restabelecimento 1 .....	39
3.8.4. O Perfil Longitudinal da Rotunda 2 .....	42
3.9. O TRAÇADO DOS RAMOS DOS NÓS.....	43
3.9.1. Critérios de Dimensionamento.....	43
3.9.2. O Ramo D .....	43
3.9.4. Os restantes Ramos do Nó.....	48
3.10. AS VIAS DE ACELERAÇÃO E DESACELERAÇÃO .....	49
3.11. ALARGAMENTO DO PERFIL TRANSVERSAL DA PLENA VIA NA ZONA DO NÓ.....	49
3.12. OS DESENHOS FINAIS.....	50
4. CONCLUSÃO.....	51
5. ANEXOS.....	53
5.1. LISTAGENS.....	53
5.1.1. Características da Directriz do Ramo D.....	53
5.1.2. Coordenadas de pontos equidistantes de 25 m da Directriz do Ramo D.....	54
5.1.3. Características da Rasante do Ramo D .....	55
5.1.4. Cotas de pontos equidistantes de 25 m da rasante do Ramo D .....	55
5.2. PEÇAS DESENHADAS.....	
Desenho 1 – Plena Via – Traçado – Directriz e Rasante – Km 1+600 a Km 2+600 .....	
Desenho 2 – Plena Via – Traçado – Directriz e Rasante – Km 2+600 a Km 3+600 .....	
Desenho 3 – Plena Via – Traçado – Perfis Transversais Tipo – Folha 1 .....	
Desenho 4 – Plena Via – Traçado – Perfis Transversais Tipo – Folha 1 .....	
Desenho 5 – Nó de Ligação e Restabelecimentos – Traçado – Perfis Transversais Tipo .....	
Desenho 6 – Plena Via – Traçado – Planta e Perfil Longitudinal – Km 1+600 a Km 2+600.....	
Desenho 7 – Plena Via – Traçado – Planta e Perfil Longitudinal – Km 2+600 a Km 3+600.....	

Desenho 8 – Nó de Ligação – Traçado – Planta Geral – Folha 1 .....	
Desenho 9 – Nó de Ligação – Traçado – Planta Geral – Folha 2 .....	
Desenho 10 – Nó de Ligação – Traçado – Planta e Perfil Longitudinal – Ramo A e Ramo B .....	
Desenho 11 – Nó de Ligação – Traçado – Planta e Perfil Longitudinal – Ramo C e Ramo D .....	
Desenho 12 – Nó de Ligação – Traçado – Planta e Perfil Longitudinal – Restabelecimentos 1 e 2, Rotundas 1 e 2 .....	

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.1 – Nós em diamante .....	5
Fig.2 – Nó em diamante com rotundas na via secundária.....	5
Fig.3 – Desenho sem projecto associado .....	13
Fig.4 – Caixa de diálogo “Select or Create a Project” .....	13
Fig.5 – Associar desenho a projecto existente .....	14
Fig.6 – Criar um novo projecto .....	14
Fig.7 – O desenho associado a um projecto.....	15
Fig.8 – A directoria de projectos.....	15
Fig.9 – As organização em pastas de um projecto .....	16
Fig.10 – A configuração de um desenho .....	16
Fig.11 – A escolha das unidades de trabalho .....	17
Fig.12 – Levantamento topográfico (representação tradicional).....	18
Fig.13 – Levantamento topográfico (Modelo digital) .....	18
Fig.14 – Acedendo aos vários módulos de programas.....	19
Fig.15 – A escolha de um módulo.....	20
Fig.16 – O menu “Lines/Curves” para desenho de elementos do eixo.....	21
Fig.17 – A concordância de dois arcos de circunferência .....	22
Fig.18 – Selecção da situação a resolver .....	22
Fig.19 – Selecção do tipo de clotóde .....	23
Fig.20 – A clotóide composta .....	23
Fig.21 – A selecção do elemento inicial de um alinhamento .....	24
Fig.22 – A definição de um alinhamento .....	25
Fig.23 – Definição de distâncias ao eixo “layers” para linhas paralelas ao eixo .....	26
Fig.24 – A Plena Via na zona do nó .....	27
Fig.25 – Ligações a realizar pelo nó .....	27
Fig.26 – O eixo da Rotunda Nascente .....	28
Fig.27 – O eixo da Rotunda Poente .....	29
Fig.28 – A eixo de ligação entre rotundas.....	29
Fig.29 – O menu “Alignment Station Label Settings” .....	30
Fig.30 – A anotação de um eixo em planta.....	31
Fig.31 – A definição dos parâmetros gerais de desenho do perfil longitudinal .....	33
Fig.32 – A definição dos parâmetros específicos de desenho do perfil longitudinal .....	34
Fig.33 – O perfil longitudinal do terreno da Rotunda 1 .....	35
Fig.34 – Pontos de cota condicionada .....	35
Fig.35 – A construção da rasante (1) .....	36
Fig.35 – A construção da rasante (2) – O desenho de uma concordância vertical .....	37
Fig.36 – A construção da rasante (3) .....	37
Fig.36 – A construção da rasante (4) – O ajuste da rasante a pontos específicos .....	38
Fig.37 – A construção da rasante (5) .....	38
Fig.38 – O perfil longitudinal da Rotunda 1 .....	39
Fig.39 – O polígono de controlo de “gabarit” .....	40
Fig.40 – Determinação da posição do ponto crítico relativamente aos alinhamentos.....	40
Fig.41 – O desenho da rasante do Restabelecimento 1, em função das condicionantes.....	41
Fig.41 – O perfil longitudinal do Restabelecimento 1 .....	42
Fig.42 – O perfil longitudinal do Rotunda 2 .....	42
Fig.43 – Definição do troço inicial do Ramo D .....	43
Fig.44 – Determinação aproximada da localização do final do Ramo D relativamente à Plena Via....	44
Fig.45 – Construção da curva de ligação Ramo D/ Plena Via .....	45
Fig.46 – A caixa de diálogo “Create Spirals – Tangent to Tangent” .....	45
Fig.47 –A ligação Ramo D/ Plena Via .....	46
Fig.48 –Localização de pontos notáveis (em planta) relativamente aos alinhamentos em estudo.....	47
Fig.49 – Estudo da rasante do Ramo D na ligação à Plena Via.....	48





## **ÍNDICE DE TABELAS**

Tabela 1 – Limites da Plena Via.....	26
Tabela 2 – Condicionantes da rasante do Restabelecimento 1 .....	41
Tabela 3 – Condicionantes da rasante do Ramo D .....	44
Tabela 4 – Cálculo de pontos da rasante do Ramo D na ligação à Plena Via .....	47
Tabela 5 – Extensão das vias de aceleração do tipo paralelo para VB = 80 km/h .....	49
Tabela 6 – Extensão das vias de desaceleração do tipo paralelo para VB = 80 km/h.....	49
Tabela 7 – Extensão das vias de desaceleração do tipo directo para VB = 80 km/h.....	49
Tabela 8 – Factores de correcção para as vias de desaceleração em função da inclinação da rasante .....	49
Tabela 9 – Transição do Perfil Transversal Tipo - Extensão e Raio das Curvas para VB=80 km/h ....	50



# 1

## INTRODUÇÃO

É objectivo deste trabalho a elaboração de um conjunto de peças escritas e desenhadas que possam conduzir à materialização de um nó rodoviário em condições concretas – ou seja, a elaboração de um Projecto de Execução (embora apenas na sua componente de definição geométrica).

A opção ter recaído sobre a definição de um nó deveu-se a dois factores fundamentais:

- Dificuldade

Os nós são talvez a infra-estrutura rodoviária mais complexa de definir, colocando dificuldades de ligação, inserção e compatibilização dos vários eixos, tanto em planimetria como em altimetria. Para a definição de um nó rodoviário têm de ser tomadas em consideração três Normas da ex-JAE: Normas de Traçado, Normas de Intersecções e Normas de Nós de Ligação. Em resumo, a definição de um nó implica mais detalhe e maior conhecimento que a definição de qualquer troço de plena-via;

- Actualidade do tema

No estágio de desenvolvimento do país e das suas infra-estruturas rodoviárias, em que estão já construídas e/ou projectadas a maior parte das auto-estradas e estradas da rede fundamental, a atenção das entidades públicas responsáveis deverá focalizar-se na beneficiação e remodelação da vasta rede de estradas existentes, nomeadamente no reforço e melhoria das condições de segurança. Os nós de ligação têm aqui um papel primordial ao eliminarem as intersecções de nível.

Na elaboração deste trabalho será dado um destaque particular à componente de desenho e cálculo realizados com o auxílio de software específico para o efeito, tendo sido utilizado o programa comercial Civil, da Autodesk®, disponível para aplicações educacionais na rede informática da FEUP. Procurou-se, desta maneira, aliar os conhecimentos teóricos adquiridos com a sua concretização prática.

Está o autor consciente de que embora a componente da definição geométrica dos traçados seja primordial, um Projecto de Execução de uma rodovia exige o contributo de muitas outras especialidades (será inclusive o tipo de projecto que envolve a maior diversidade de especialistas). Os conhecimentos adquiridos no curso permitiriam a realização de outros projectos parcelares, nomeadamente os de Drenagem de Águas Pluviais, Pavimentação e Sinalização. De entre os temas disponibilizados pelo Orientador era este, no entanto, aquele que ao candidato ao MIEC mais interessava.

Para além deste capítulo introdutório, o trabalho é apresentado em três partes fundamentais:

- Um capítulo dedicado ao enunciado das definições e dos conceitos fundamentais e ter em conta no desenvolvimento do projecto
- Um capítulo onde se detalham as opções seguidas e se tenta elucidar o leitor sobre os processos de desenho e cálculo, com a apresentação de exemplos.
- Um anexo de Peças Desenhadas onde se apresentam Plantas e Perfis Longitudinais do projecto do nó.

# 2

## DADOS DE BASE

### 2.1. DEFINIÇÕES

Neste ponto serão apresentados vários conceitos e definições, fundamentais para o projecto de um nó, retirados, no essencial, dos documentos normativos. Assim, de acordo com a Norma de Nós de Ligação:

*“Um nó de ligação é constituído por um conjunto de ramos que asseguram a ligação entre estradas que se cruzam a níveis diferentes, concebido com a finalidade de reduzir ou eliminar os pontos de conflito, melhorar a segurança e aumentar a capacidade. Os conflitos devidos ao atravessamento das correntes de tráfego são sempre eliminados num nó de ligação. Quanto aos conflitos devidos às viragens podem também ser eliminados, ou pelo menos minimizados, conforme o tipo de nó que for adoptado.*

...

*A estrada principal de um nó de ligação terá sempre, localmente, 2 x 2 vias, mesmo que o perfil transversal tipo corrente dessa estrada tenha somente duas vias.*

...

*As grandes vantagens dos nós de ligação, relativamente às intersecções são: menores perdas de tempo e grande melhoria da segurança, pois são eliminados os movimentos que originam o maior número de acidentes, e os mais graves, nas intersecções (atravessamentos e viragens à esquerda).”*

Já que se a segurança é um factor cada vez mais importante nas questões rodoviárias, salienta-se o que a este respeito refere a Norma no capítulo dos elementos necessários para o projecto:

*“Quanto à segurança devem-se sempre analisar as condições operacionais em nós análogos, especialmente quanto às vias de aceleração e desaceleração, raio das curvas e transições, tipos de pavimento e protecção lateral. A fim de se assegurar à condução nocturna condições de segurança idênticas às da condução diurna, os nós de ligação, assim como a sua zona de influência, deverão ser sempre iluminados.”*

Alguns dos conceitos referidos nas Normas, nomeadamente os que respeitam aos critérios que conduzem à localização de um nó, ao espaçamento entre nós ao longo de um itinerário, e à homogeneidade no tipo de soluções adoptadas estão aqui ultrapassados. No presente estudo, a localização, o tipo de nó e as características e dimensões dos perfis tipo a adoptar são dados. No entanto, e de forma a justificar o tipo de nó escolhido no presente estudo, transcreve-se a Norma na descrição do tipo de nó:

*“A escolha do tipo de um nó de ligação, assim como o seu projecto, são influenciados por muitos factores, sendo os principais os seguintes: velocidade, volume e composição do tráfego, número de ramos que se cruzam, características da rede viária local, topografia, área disponível, condicionamentos urbanísticos, impacto ambiental e custo.*

*Embora um nó de ligação seja necessariamente concebido para satisfazer condições específicas, é desejável que as características dos ramos de ligação ao longo de um itinerário sejam consistentes entre si.*

*Frequentemente, é necessário alterar o sistema viário local nas proximidades de um nó de ligação, a fim de se assegurarem as melhores condições de circulação local, e garantir a possibilidade de desenvolvimento futuro da comunidade.*

*Os vários tipos de nós de ligação são caracterizados pelo traçado dos ramos de ligação, designadamente: directo, diamante, trevo e trompette, ou variante destes tipos.”*

A Norma distingue seguidamente duas possibilidades:

- Nós de Ligação entre Itinerários Principais e/ou Complementares
- Nós de Ligação entre Itinerários Principais, ou Complementares, e outras estradas, Nacionais, Regionais ou Municipais

A situação em estudo enquadra-se claramente no segundo caso. Refere a Norma:

*“O recurso a ramos de ligação isolados ou a nós de ligação incompletos deve ser evitado, a fim de não se incentivarem movimentos errados dos condutores, os quais são predominantes em ramos de ligação de saídas isoladas. Com efeito, verifica-se haver menor confusão dos condutores nos nós de ligação em que todos os movimentos são possíveis, do que nos outros.*

*Normalmente, são preferíveis nós em que todos os ramos ligam a uma mesma estrada secundária.*

*Nó em Diamante*

*O nó de ligação em diamante é o mais simples. Este tipo de nó tem ramos de ligação com bom traçado, viragens directas na estrada secundária e custos de construção mínimos. Além disso, este tipo de nó é adaptável a uma grande variedade de volumes de tráfego.*

*A capacidade é limitada pela capacidade das intersecções dos ramos de ligação com a estrada secundária. A capacidade pode ser aumentada alargando os ramos de ligação (duas ou três vias), assim como a estrada secundária, na zona das intersecções.*

*O traçado tradicional deste nó (S1) só deve ser adoptado no caso de volumes de tráfego diminutos ( $VHP < 150$ ) na estrada secundária (Fig. 4). A solução a adoptar normalmente para o seu traçado deve ser o tipo S2, a qual permite dimensionar convenientemente as vias de viragem à esquerda sem ser necessário alargar a estrutura.*

*O tipo alargado nos quatro quadrantes é adoptado quando é necessário alterar o perfil longitudinal da estrada secundária a fim de se assegurar a altura livre da estrutura. Neste caso os ramos de ligação são mais afastados de modo a garantir-se a maior distância de visibilidade e a menor inclinação possível nas intersecções, compatíveis com o custo das expropriações e da construção, a extensão dos percursos e a integração no meio ambiente. Um diamante alargado tem a vantagem das rampas serem mais suaves, maior capacidade de armazenamento nas vias de viragem à esquerda, e flexibilidade, pois permite a construção futura de ramos de ligação interiores se necessário.*

No entanto, este tipo de nó tem o inconveniente de favorecer manobras erradas dos usuários da estrada secundária. Essas manobras erradas poderão ser evitadas com a construção de faixas de rodagem unidireccionais na estrada secundária. Uma alternativa à construção dessas faixas unidireccionais é o semi-trevo com dois quadrantes, no caso das viragens à esquerda na estrada secundária serem diminutas, não necessitando de vias especiais para esse efeito. Estas viragens à esquerda não permitem o uso de separador contínuo na via secundária.

Quando a estrada secundária cruza em passagem superior sobre a estrada principal, o nó é muito mais visível pelos condutores alertando-os para a sua existência. Além disso tem a vantagem das saídas serem em rampa e as entradas em declive, o que facilita a desaceleração e aceleração nos ramos de ligação respectivos.

O tipo S3 é aplicável quando é necessário assegurar a ligação a duas estradas secundárias localizadas muito próximas.

O traçado dos ramos de ligação depende dos condicionamentos locais, podendo ser adoptado qualquer dos tipos constantes da Figura”

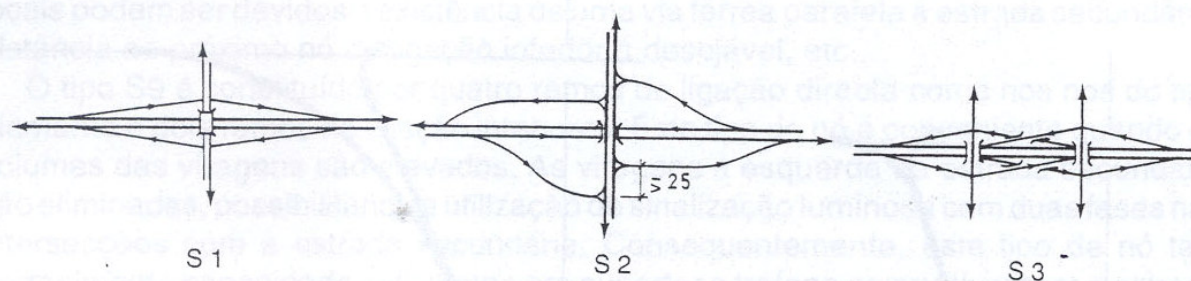


Fig.1 – Nós em diamante

Na transcrição anterior destacou-se o aspecto menos positivo dos nós em diamante mais tradicionais, ou seja, aqueles em que as ligações à estrada secundária se fazem através de entroncamentos ou cruzamentos de nível. É para melhorar este aspecto que tem vindo a ser considerada a solução de substituir estes entroncamentos ou cruzamentos por intersecções giratórias. Considerando o êxito que este “lay-out” tem obtido, a Norma de Nós de Ligação poderia passar a incluir na sua Fig. 4 o esquema que se segue:

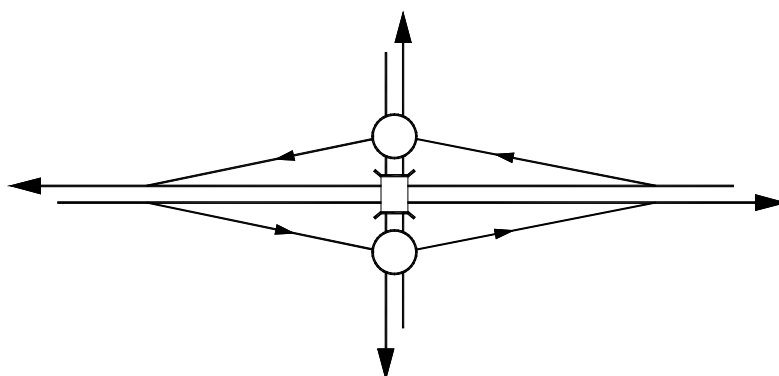


Fig.2 – Nó em diamante com rotundas na via secundária

Sem interesse fundamental para a discussão refira-se o facto de, na Figura 4 da Norma em análise, os esquemas S1, S4, S7 e S10 estarem invertidos relativamente aos sentidos de circulação praticados em Portugal.

Convém neste ponto fazer uma breve incursão pela Norma de Intersecções já que é neste documento que se caracterizam as intersecções giratórias.

*“A Grã-Bretanha é o País no qual as intersecções giratórias são mais utilizadas. No entanto, segundo um estudo efectuado recentemente nesse país, que abrangeu 15000 intersecções situadas em estradas principais, verificou-se que somente cerca de mil (7%) eram do tipo giratório.*

*Embora em vários países se tenha verificado um número de acidentes menor nas intersecções giratórias, é preciso não esquecer que normalmente as condições operacionais não são as mesmas que se verificam nas intersecções do tipo principal/secundária, com que se efectua a comparação.*

*Segundo estudos efectuados recentemente, na Suécia, o número de acidentes nas intersecções giratórias não é significativamente menor do que nas intersecções do tipo principal/secundária, com idênticos volumes e velocidades de operação.*

*Pode-se dizer, quanto a segurança, que a gravidade dos acidentes nas intersecções giratórias é menor, pois não existem os movimentos que originam os acidentes mais graves (viragens à esquerda e atravessamentos).*

*No entanto, os cruzamentos giratórios têm também inconvenientes, essencialmente operacionais, sendo os principais os seguintes:*

*I - Subordinar as correntes de tráfego prioritárias ao tráfego total*

*II - Obrigar a grande maioria dos veículos a manobras de entrecruzamento*

*III - Necessitar duma grande área.*

*Os cruzamentos giratórios são portanto incompatíveis com o princípio da prioridade, que deve ser assegurado aos Itinerários Principais e Complementares nas intersecções em zona rural.*

*As intersecções deste tipo são consideradas inconvenientes em estradas nacionais, sendo só aceitáveis, normalmente, em zonas residenciais ou de lazer.”*

O texto aborda ainda algumas limitações à utilização das intersecções giratórias mas que não se aplicam ao presente estudo. No entanto, refira-se que a Norma de Intersecções foi publicada em 1993, sendo que desde essa altura as rotundas assumiram um papel muito importante e positivo enquanto dispositivos de distribuição de tráfego e de acalmia do mesmo, sendo particularmente eficazes na separação de zonas de tráfego rural/urbano. Contra elas tem havido um certo excesso que por vezes se comete na sua utilização sem um critério válido, sob o ponto de vista rodoviário. Todavia ressalta no texto da Norma a questão da segurança, que se considera melhorada por serem evitados os movimentos de atravessamentos da via e de viragem à esquerda.

Prosseguindo a análise à Norma de Nós de Ligação refere esta, no seu ponto 3 ESTRUTURAS, alguns aspectos de grande relevância para o presente estudo. Recorda-se que um nó de ligação estabelece o cruzamento desnivelado de vias, obrigando à construção de, pelo menos, uma Obra de Arte.

*“A estrutura, ou estruturas, devem integrar-se completamente no traçado do nó de ligação, não devendo atrair a atenção dos condutores, a fim de não os distrair.*



*O perfil transversal tipo da estrada deve manter-se inalterável ao longo da estrutura, assim como o sistema de protecção. A estrutura tem de ser projectada de modo a adaptar-se ao traçado do nó, o que pode implicar largura variável, vãos assimétricos, etc. Ao projectar-se a estrutura deve ter-se em atenção o tráfego previsto no ano horizonte (20 anos), assegurando, se necessário, o aumento do número de vias por faixa de rodagem, numa segunda fase.*

*Como é sabido é sempre necessária uma colaboração íntima entre os projectistas da estrada e das estruturas, a qual no caso dos nós de ligação é ainda mais importante.*

*Em cada caso deve efectuar-se um estudo detalhado para determinar se a estrada principal deve passar por cima ou por baixo da estrutura.*

*As condições gerais predominantes podem incluir-se em três casos principais a saber:*

- a) A topografia é o factor mais importante, pelo que o traçado do nó se lhe deve adaptar da melhor forma possível;*
- b) A topografia local não favorece qualquer das soluções;*
- c) O traçado, em planta e perfil, de uma das estradas é tão importante que subordina o traçado geral do nó de ligação, obrigando mesmo a contrariar os condicionamentos topográficos.*

*Como é evidente o traçado que melhor se adapta à topografia local é, normalmente, o mais estético e económico tanto em construção como conservação.”*

*Duas considerações se impõem:*

- Em primeiro lugar refere a Norma o carácter multidisciplinar do Projecto Rodoviário. Este é sem dúvida um dos aspectos mais positivos do exercício da actividade do Engenheiro Rodoviário que, enquanto responsável pelo traçado da via e coordenador do projecto, tem que contactar muitos outros especialistas e integrar todas as suas contribuições no projecto. O diálogo permanente entre todas estas especialidades leva, muitas vezes, a alterações do próprio traçado, que obriga a um recomeço do processo de discussão. Um Projecto Rodoviário é pois um processo de afinações sucessivas de soluções e em que o objectivo final não é “o melhor traçado” mas sim “o melhor projecto”.
- Em segundo lugar assume-se que o trabalho que se apresenta se enquadra na perspectiva da alínea c) do ponto da Norma transcrito nos parágrafos anteriores. Ou seja, o autor é condicionado nesta fase pelos traçados da Plena Via das estradas que se cruzam, em planta e perfil longitudinal, do qual não pode fugir.

*Continuando com a transcrição da Norma, refere esta;*

*Quando a topografia não tem influência predominante na solução a adoptar, será necessário considerar outros condicionamentos, tais como:*

- i) Para o tráfego directo é preferível, sob o aspecto estético, que a estrada principal passe por cima da secundária, pois esta situação proporciona um panorama amplo aos usuários daquela, não provocando qualquer sensação restritiva.*
- ii) As passagens superiores favorecem as características operacionais dos nós, pois facilitam a desaceleração dos veículos que saem, e a aceleração dos que entram na estrada principal. Esta é a solução clássica que se adopta nos nós em diamante.*
- iii) As passagens inferiores facilitam a construção por fases da estrada principal. Pelo contrário, no caso de uma passagem superior, é necessário construir a estrutura na totalidade na primeira fase,*

*para não ter de cortar a estrada secundária na fase final, cujos inconvenientes para o tráfego seriam inaceitáveis.*

*iv) Do ponto de vista dos condutores é desejável que a estrada principal passe sobre o menor número possível de estruturas, evitando-se assim o desconforto das juntas, e as perturbações da circulação devidas às reparações e reconstrução das mesmas.*

*v) Nas áreas metropolitanas é desejável que a estrada principal seja em escavação, possibilitando-se assim que os atravessamentos das vias secundárias da rede local se efectuem ao nível do terreno. Esta solução tem ainda a vantagem de minimizar os efeitos negativos no meio ambiente devidos à obstrução visual e reduzir consideravelmente a poluição química e sonora.*

Dos condicionamentos referidos o ponto ii) assume carácter fundamental no caso em estudo.

## **2.2. UTILIZAÇÃO DO NORMATIVO**

Como já foi referido, o projecto foi desenvolvido tendo em atenção o estabelecido em três Normas fundamentais para o projecto de estradas:

- Normas de Traçado
- Normas de Nós de Ligação
- Normas de Intersecções

A primeira destas será mais utilizada na definição de conceitos chave como, por exemplo, Velocidade Base, Distância de Visibilidade de Paragem, aplicação de Curvas de Transição, ritmo de variação de Sobreelevações e Sobrelarguras, etc.

As Normas de Nós de Ligação determinam os valores dos raios mínimos (planta e perfil) a adoptar, as inclinações máximas dos seus traineis, os valores das sobreelevações e sobrelarguras, o número de vias para cada ramo, etc.

As Normas de Intersecções são fundamentais para o desenho das vias de aceleração e abrandamento dos ramos do nó, para o desenho dos alargamentos da Plena Via por introdução de um separador central e duplicação das vias e, ainda, para o dimensionamento das rotundas de articulação dos ramos do nó com a via secundária.

## **2.3. ESPECIFICAÇÕES DO PROJECTO**

O objectivo do projecto foi assim definido:

Definir, na componente de geometria (plantas e perfis longitudinais), um nó de ligação que permita o acesso de um determinado núcleo urbano (de pequena dimensão) a uma via com características de Itinerário Principal. O nó deverá ser do tipo diamante com rotundas na via secundária. Para além disso, esta deverá restabelecer a ligação desde o referido núcleo urbano até uma série de equipamentos e edifícios de carácter rural cujo acesso será cortado pela construção do IP.

Para a realização do trabalho foram fornecidos os seguintes elementos:

- Perfis Transversais Tipo para todas as vias a considerar e que se apresentam nas Peças Desenhadas.

- Levantamento topográfico, em formato digital, da zona interessada ao projecto (incluindo já o Modelo Digital do Terreno).
- Definição, em planimetria e altimetria, do eixo da Plena Via, na zona interessada ao projecto. Nas Peças Desenhadas apresentam-se desenhos com estes elementos sobre a topografia existente.
- Velocidade Base para a Plena Via de 80 km/h.



# 3

## PROJECTO GEOMÉTRICO DO NÓ

### 3.1. INTRODUÇÃO

Constitui este capítulo o cerne do trabalho em avaliação. Como foi referido no capítulo introdutório pretende-se resolver os problemas concretos que um projecto desta índole coloca com a ajuda de programas informáticos de desenho e cálculo de estradas. Far-se-á uma descrição das situações com que o projectista se vai deparando e dos processos e meios usados para alcançar os objectivos pretendidos. Sempre que possível esta descrição será ilustrada com um conjunto de imagens e desenhos dos vários passos dados.

### 3.2. A INFORMÁTICA E A ENGENHARIA RODOVIÁRIA

A utilização massiva de processos informáticos para elaboração de projectos de engenharia teve, em Portugal, origem na ocorrência de dois fenómenos de carácter muito distinto mas temporalmente próximos:

- No início dos anos 80, deu-se a revolução informática que colocou um PC (do inglês “Personal Computer”) ao alcance da maior parte das pessoas, a preços cada vez mais baixos. Estes computadores pessoais evoluíram de forma assombrosa, tendo os portáteis de hoje capacidades muito superiores a um Main Frame dos anos 70. Esta evolução do Hardware provocou também um enorme desenvolvimento de Software, surgindo aplicações informáticas para resolução de todo o tipo de problemas.
- Também na década de 80, deu-se em Portugal a explosão do investimento público em infra-estruturas rodoviárias, por via dos fundos comunitários. Este facto transformou por completo a forma de fazer projectos já que o tempo passou a ser um factor primordial. Os processos manuais de cálculo e desenho deixaram de ser compatíveis com as necessidades do país.

Para além do exposto, que por si só justifica a passagem para os computadores de maior parte do processo de realização de um projecto, há nos projectos rodoviários características que se adequam especialmente ao cálculo automático. A realização de perfis longitudinais e transversais é uma tarefa laboriosa e demorada quando feita manualmente. No entanto esta é, na essência, uma tarefa simples – trata-se de determinar, sobre uma superfície (normalmente o terreno), num ponto de coordenadas genéricas M e P, o valor da sua cota z. Dispondo-se de um Modelo Digital do Terreno em estudo, esta é uma tarefa que o computador realiza em milésimos de segundo.

Para além deste aspecto de realização de tarefas repetitivas em tempos não comparáveis aos humanos, os processos de desenho em computador têm a vantagem de serem mais “limpos” que os tradicionais: as alterações e correcções são fáceis e não deixam marcas.

Todas estas vantagens dos meios informáticos não são, todavia, condição suficiente para a obtenção de um bom projecto. Os meios informáticos são uma importante ferramenta que permite realizar tarefas em tempos muito inferiores aos que se conseguiriam por meios manuais. No entanto, a experiência, a imaginação e o saber humanos continuam a ser o factor fundamental na elaboração dos projectos.

Existem no mercado muitas e variadas ferramentas de cálculo e desenho de estradas, todas com vantagens e inconvenientes relativamente às outras. No desenvolvimento do presente projecto foi utilizado o software Civil Design® da Autodesk. Esta opção teve por base:

- Ser o software disponível na rede informática da FEUP, de utilização livre para fins didácticos não comerciais;
- Funciona sobre AutoCad®, software de Desenho Assistido por Computador, de que o autor possui experiência de utilização

### 3.3. A CRIAÇÃO DE UM PROJECTO EM CIVIL DESIGN

Como já se referiu, o programa Civil Design® é constituído por um conjunto de comandos e rotinas específicos funcionado como menus do programa de desenho AutoCad®. É fundamental portanto, possuir conhecimentos básicos deste último antes de se passar ao programa específico de desenho de estradas. Este software funciona em ambiente Windows sendo intuitivos e comuns a outros programas muitos dos comandos necessários para abrir e gravar ficheiros, por exemplo.

O primeiro conceito fundamental para a compreensão do funcionamento do Civil Design® é o de **Projecto**. Um projecto de Civil Design® tem um nome específico e único, e constitui uma pasta dentro da qual vão sendo guardadas todas as informações e ficheiros de dados que o programa vai criando. O software gera automaticamente um conjunto de sub-pastas, dentro da pasta *Nome de projecto*, onde guarda, por exemplo, os nomes e características dos eixos que são definidos, os modelos digitais dos terrenos, as definições de perfis tipo, os ficheiros de desenho associados ao projecto, etc.

Em resumo, um **Projecto** é um conjunto mais ou menos extenso de ficheiros, organizados numa estrutura em árvore de pastas com nomes característicos e atribuídos pelo programa, e cuja pasta “mãe” é o nome do Projecto atribuído pelo utilizador

Concretizando, vamos criar um projecto a que damos o nome de TESE. A maneira mais simples de o fazer é abrir um desenho de AutoCad não associado a qualquer projecto. Foi fornecido ao autor um ficheiro AutoCad com o nome “Planta.dwg”, contendo o levantamento topográfico e o eixo em planta da Plena Via, na zona interessada ao projecto. Fazendo um duplo clique sobre o ficheiro “Planta.dwg” é iniciado o programa Civil Design® surgindo a seguinte mensagem no ecrã.:

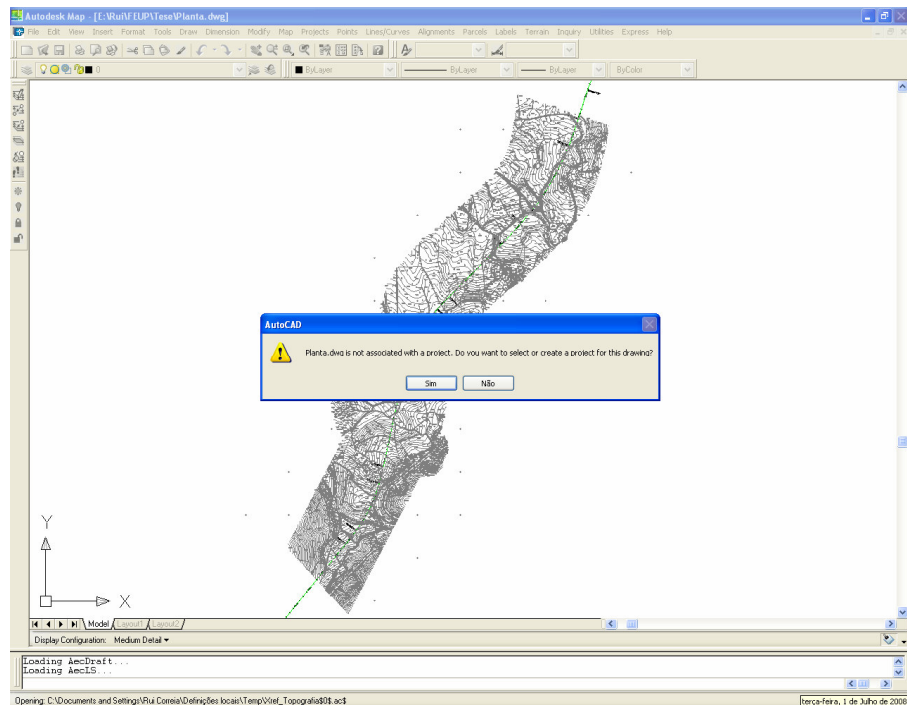


Fig.3 – Desenho sem projecto associado

Clicando no botão **Sim** surge o menu seguinte:

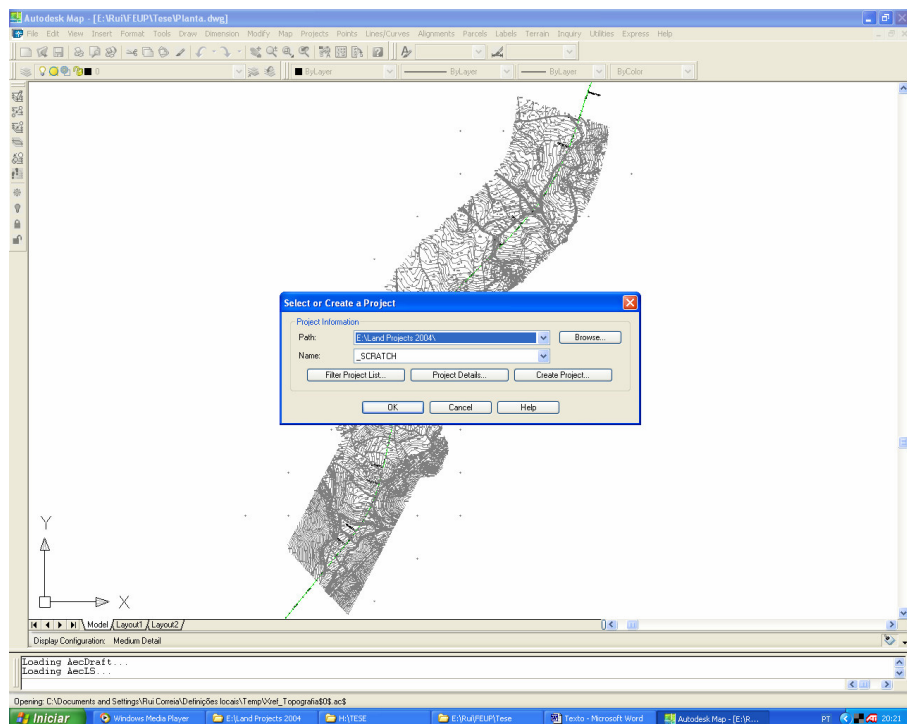


Fig.4 – Caixa de diálogo "Select or Create a Project"

Nesta caixa com o título “Select or Create a Project” existem duas opções:

a) Associar o desenho a um projecto já existente, seleccionando-o na lista que se abre.

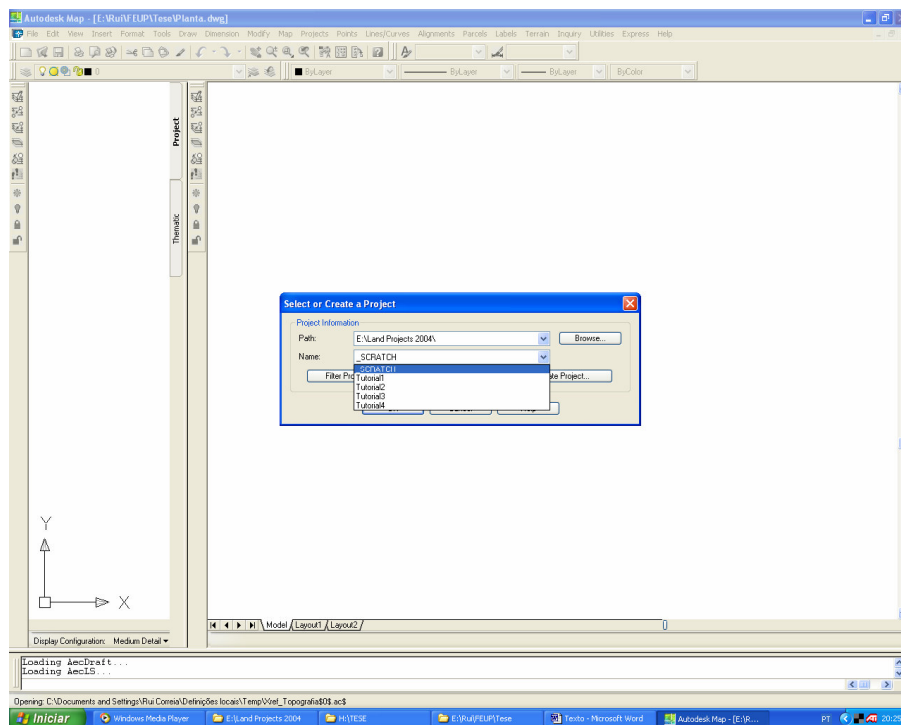


Fig.5 – Associar desenho a projecto existente

b) Criar um novo projecto, seleccionando o botão “Create Project...”

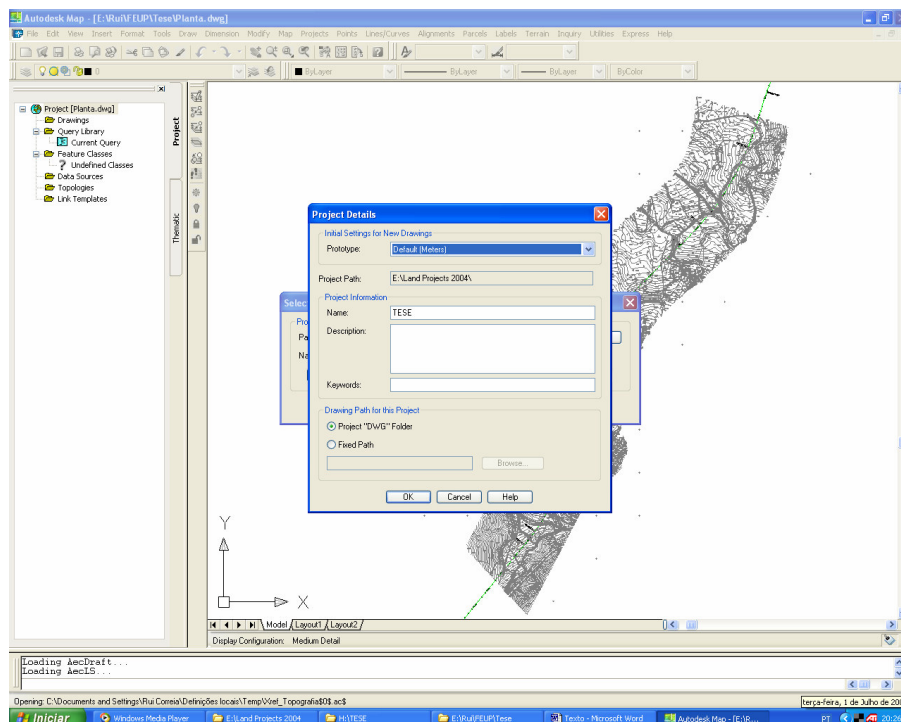


Fig.6 – Criar um novo projecto



Ao seleccionarmos esta opção surge a caixa de diálogo “Project Details” onde se deve indicar o nome que pretendemos para o novo projecto. Neste caso foi escolhido “TESE”. Na linha inicial “Initial Settings for New Drawings” deve ser escolhida a opção “Default (Meters)”

Está criado o Projecto TESE, como se pode ver na barra azul no topo do ecrã:

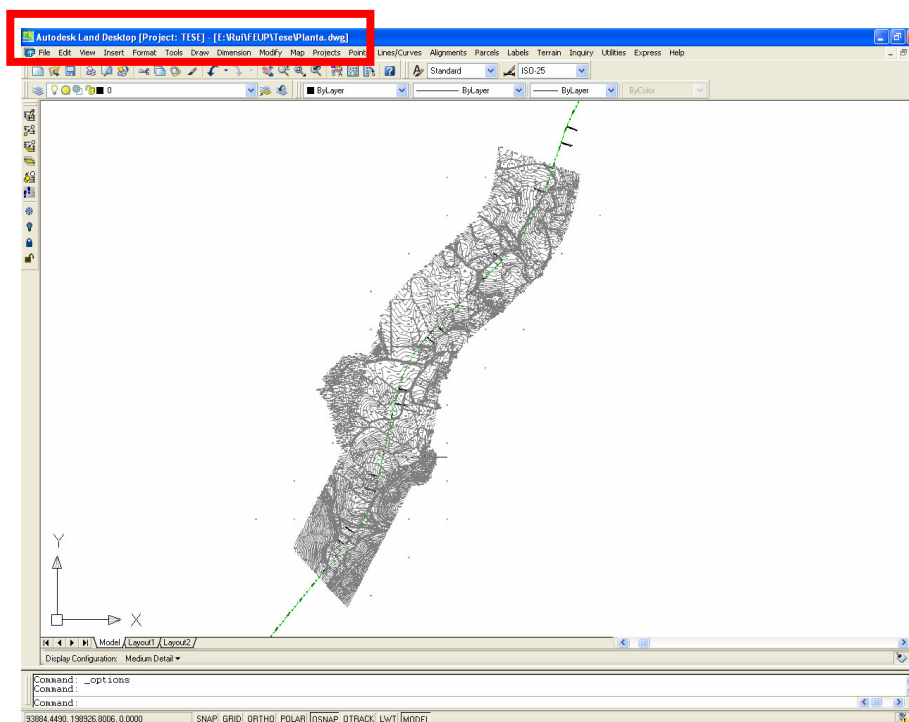


Fig.7 – O desenho associado a um projecto

Ao definir-se o projecto, foi criada na directoria dos projectos do Civil Design® uma pasta com o nome “TESE”

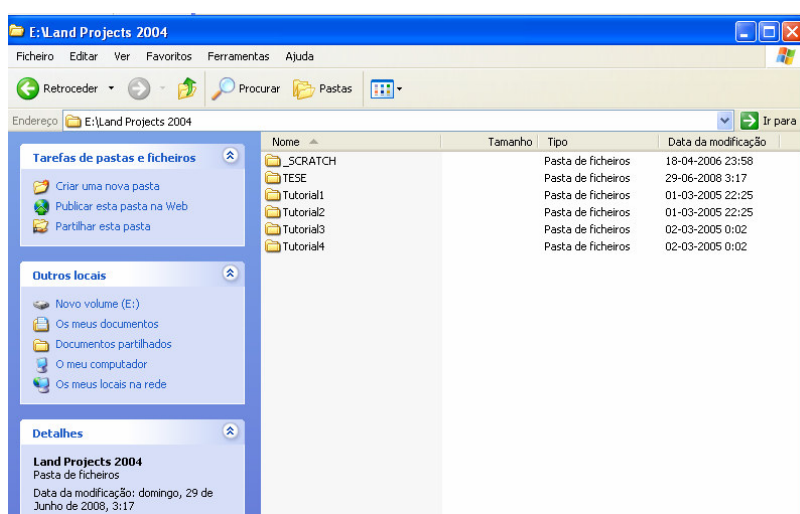


Fig.8 – A directoria de projectos

No interior da pasta “TESE” são criadas automaticamente uma série de outras pastas onde o programa irá guardando os dados do projecto.

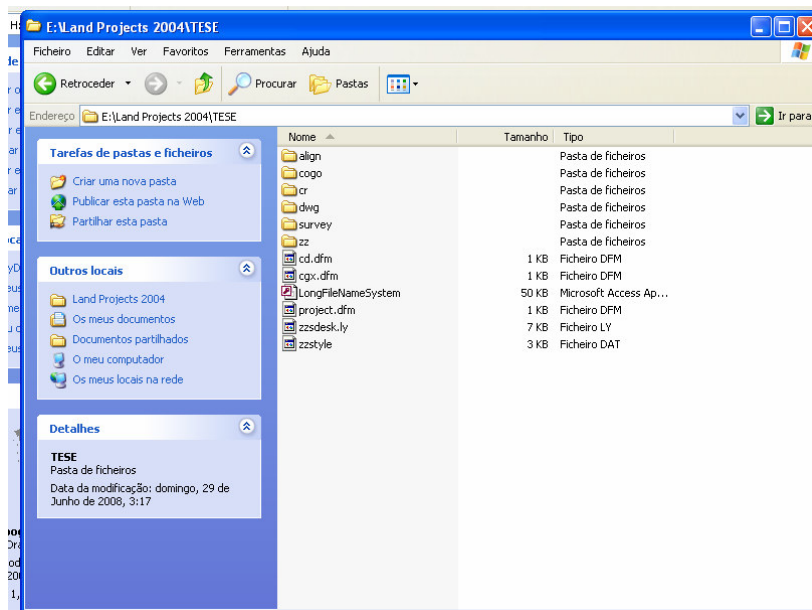


Fig.9 – As organização em pastas de um projecto

### 3.4. CONFIGURANDO UM DESENHO

O passo seguinte consiste na configuração do desenho em que se está a trabalhar. Para isso deve ser seleccionado na linha superior do ecrã o comando “Projects>Drawing Setup...”

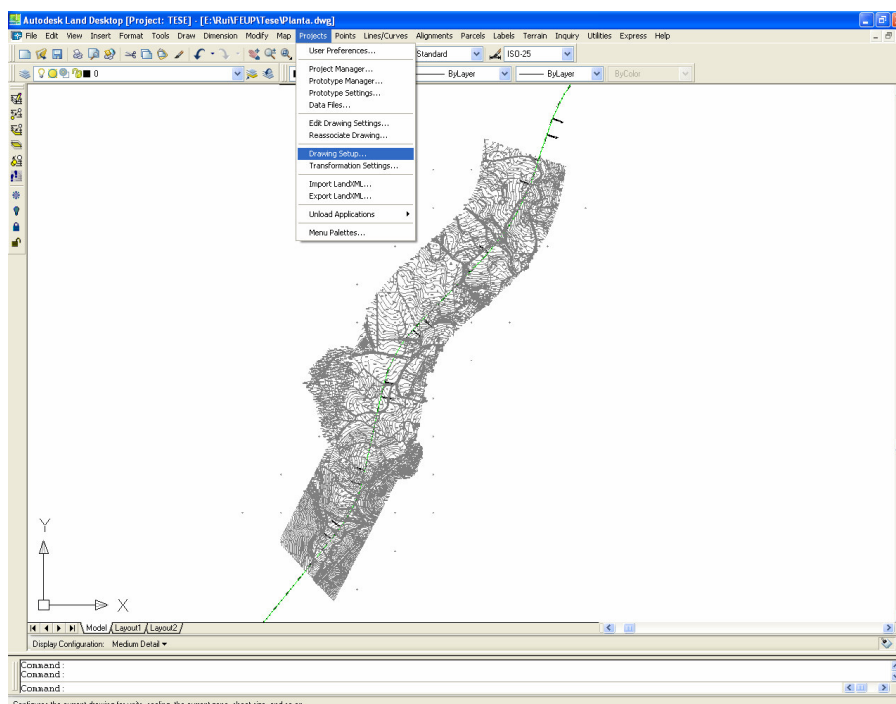


Fig.10 – A configuração de um desenho

Na caixa de diálogo que se abre devemos fazer as seguintes opções:

a) Pestana Units: seleccionar “Meters”, “Grads” e “North Azimuths”

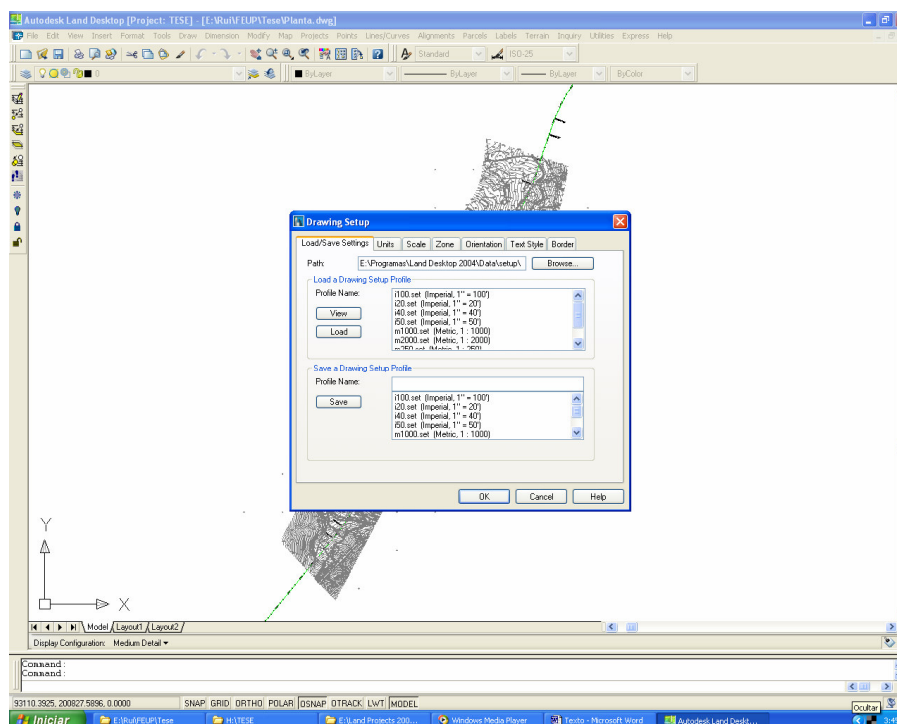


Fig.11 – A escolha das unidades de trabalho

b) Pestana “Scale”: seleccionar escala horizontal 1/1000 e escala vertical 1/100

c) Pestana “Text Style”: seleccionar “Style Set Name: mili.stp” e “Styles in the Set: 2 MM”

Criado o projecto e configurado o desenho, estamos em condições de iniciar o desenho e cálculo do nó.

### 3.5. O MODELO DIGITAL DO TERRENO

Como já foi referido, o nó em estudo integra um projecto mais vasto de que fazem parte, para além da Plena Via, uma série de nós, restabelecimentos e caminhos paralelos. Para a realização deste projecto foi realizado um levantamento aerofotogramétrico de toda a zona interessada, tendo sido fornecido ao autor um extrato desta cartografia bem como o modelo digital do terreno.

Abre-se aqui um parêntesis para se tecerem algumas considerações sobre o Modelo Digital do Terreno. Os projectos rodoviários são desenvolvidos, normalmente, sobre um terreno específico, de que é necessário haver uma representação. Esta é realizada recorrendo a levantamentos topográficos clássicos ou a processos que envolvem fotografia aérea com restituição realizada em gabinete. Em qualquer dos casos obtêm-se uma planta onde são representados os elementos de planimetria e onde os elementos altimétricos possuem uma cota identificável pelo software. Na prática, um levantamento digital não é mais do que um conjunto de pontos (que podem estar associados de forma mais ou menos sofisticada) de coordenadas (x,y,z) conhecidas.

O Modelo Digital do Terreno é criado por definição de planos a partir de trios de pontos. Os algoritmos de criação dos planos variam de programa para programa mas os resultados não são muito diferentes. Nas figuras seguintes apresenta-se em exemplo de planta digital e da correspondente rede de triângulos definidores do modelo.

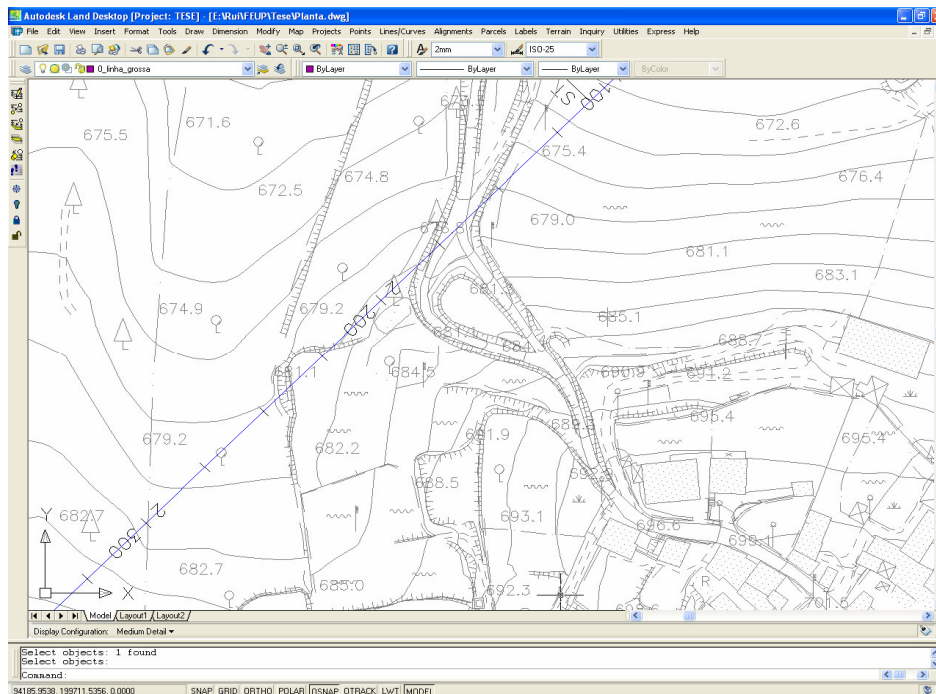


Fig.12 – Levantamento topográfico (representação tradicional)

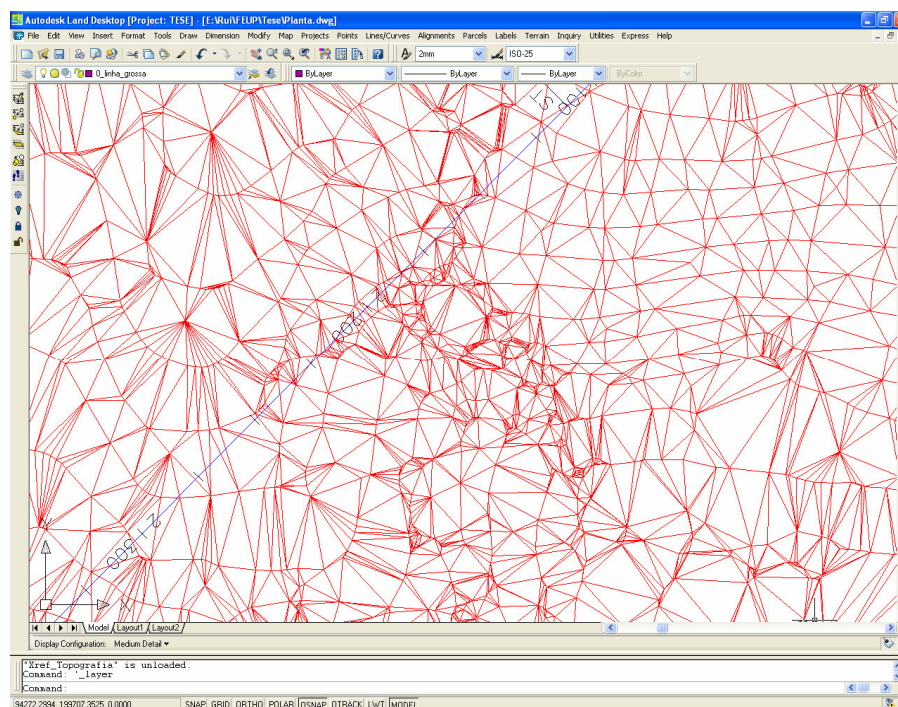


Fig.13 – Levantamento topográfico (Modelo digital)

Na figura 13 é representada a rede de triângulos, cujo designação em inglês (TIN - Triangular Irregular Network) é muito usada na gíria dos topógrafos.

Como referido anteriormente, o Modelo Digital do Terreno foi um dos elementos fornecidos, pelo que não houve neste aspecto, qualquer dificuldade. No entanto esta é uma matéria à qual deve ser dada especial atenção já que é sobre este modelo que vai ser construído todo um projecto. Um mau levantamento topográfico (logo, um mau modelo representativo do terreno real) é garantia de um mau projecto.

Um bom levantamento topográfico não é aquele que tem uma grande quantidade de pontos mas sim aquele em tem os pontos característicos do terreno (em altimetria, por exemplo, pontos altos/baixos do terreno, pontos de crista/pé de taludes, pontos de coroamento/base de muros, talvegue da linha de água, etc).

A qualidade da topografia é, juntamente com a prospecção geotécnica, um dos factores externos a que o responsável do projecto deverá dar especial cuidado já que condicionarão irremediavelmente a qualidade geral do trabalho.

### 3.6. ALTERNANDO ENTRE O AUTOCAD (LAND) E O CIVIL DESIGN

O Civil Design é um conjunto de rotinas e comandos que trabalham sobre AutoCad. Em qualquer altura pode o utilizador alternar entre os vários módulos, acedendo aos comandos específicos de cada um deles (há comandos e menus comuns a vários módulos). Para aceder aos diferentes módulos, deverá ser seleccionado o comando “Projects>Menu Palettes...”

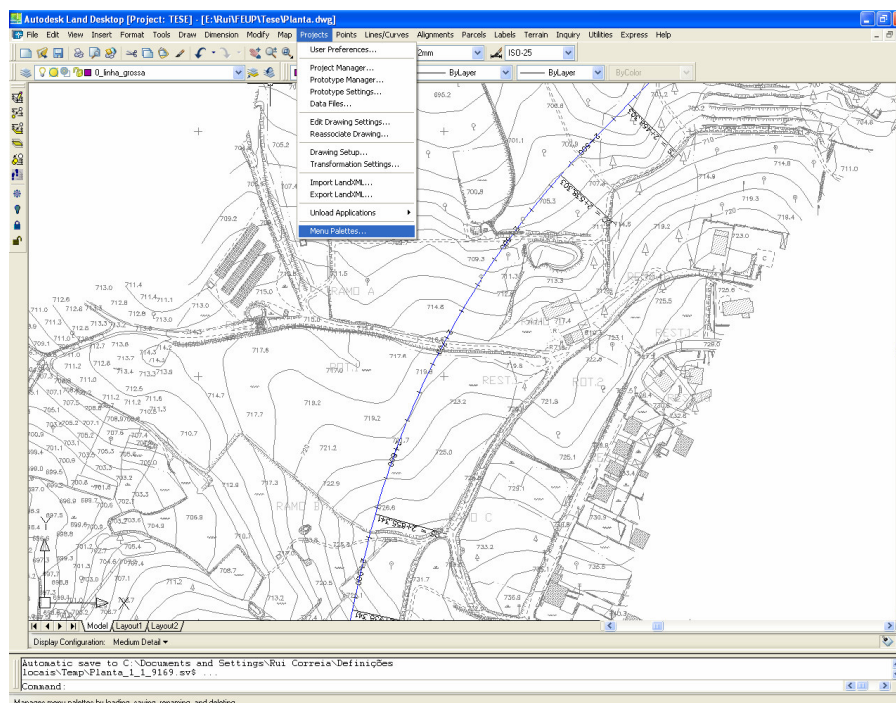


Fig.14 – Acedendo aos vários módulos de programas



Na sequência deste comando, surge uma caixa de texto em que o utilizador selecciona o módulo a que quer aceder.

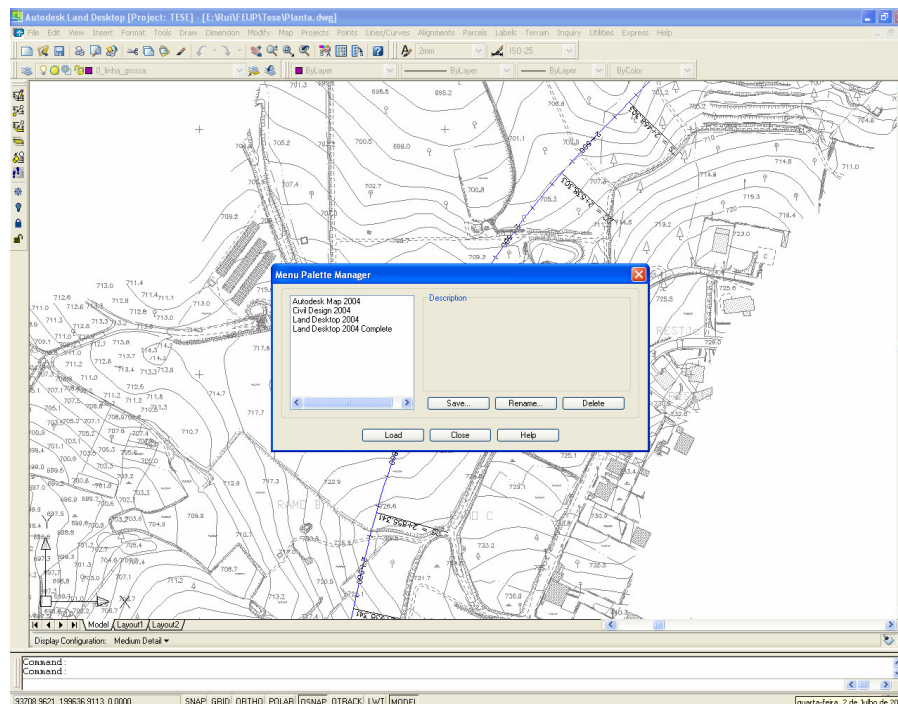


Fig.15 – A escolha de um módulo

Os módulos que interessa considerar nesta fase são os designados por “Land Desktop Complete” e “Civil Design”.

### 3.7. O DESENHO DA PLANTA

Nesta fase do trabalho, tendo definido um Projecto e um Modelo Digital de Terreno, estão reunidas as condições para se iniciar a tarefa de desenho e cálculo dos eixos em planta (directriz). É pois justificável uma pequena introdução ao processo usado no Civil Design® para tratamento destas questões.

#### 3.7.1. O DESENHO DE EIXOS

Um eixo pode incluir três tipos de entidades:

- Segmentos de recta (AutoCad / Land)
- Arcos de circunferência (AutoCad / Land)
- Espirais (Civil Design)

As entidades designadas “Espirais” são específicas do módulo Civil Design® e podem ser do tipo Clotóide, Sinusoidal, Cosinusoidal ou Quadrática.

Um eixo é constituído por uma qualquer combinação destes elementos, bastando que o extremo final de um elemento seja o extremo inicial do seguinte. Em termos de Civil Design® não é necessário que haja uma mesma tangente nestes pontos de ligação entre elementos.

O desenho de rectas e curvas pode ser feito usando os comandos tradicionais de AutoCad (Line, Arc e Circle) ou recorrendo ao menu Lines/Curves. Neste último são disponibilizados sub-menus para o desenho de clotóides.

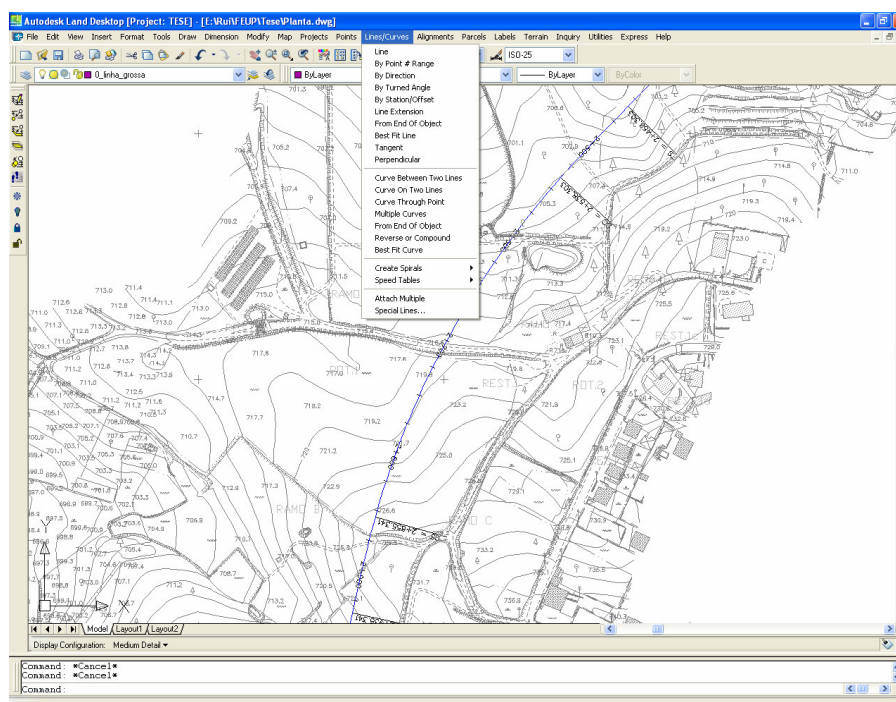


Fig.16 – O menu “Lines/Curves” para desenho de elementos do eixo

Este é um dos pontos mais determinantes na importância que os programas informáticos adquiriram no processo de desenho. O desenho passou a ser feito numa base de sucessivas tentativas, até que se atinja a solução que satisfaça o objectivo pretendido. Este método era impraticável pelos processos manuais já que cada solução implicava normalmente um investimento significativo de cálculo analítico.

Ilustrando o que foi dito, a determinação dos elementos característicos de uma clotóide de transição entre duas curvas circulares como as que se apresentam na figura seguinte, exigia uma série de cálculos trabalhosos. Com recurso ao programa informático essa tarefa demora uns segundos.

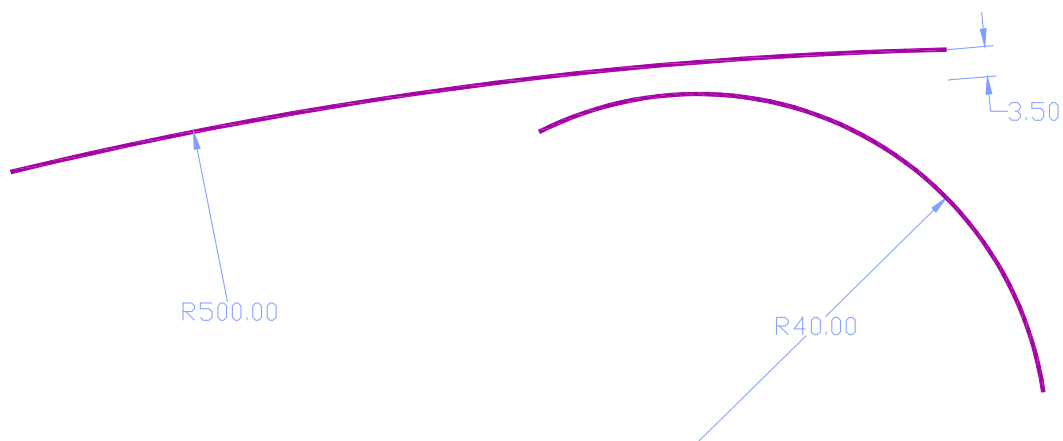


Fig.17 – A concordância de dois arcos de circunferência

Neste caso concreto deverá usar-se o comando “Lines/Curves>Create Spirals>Fit Curve-Curve...”

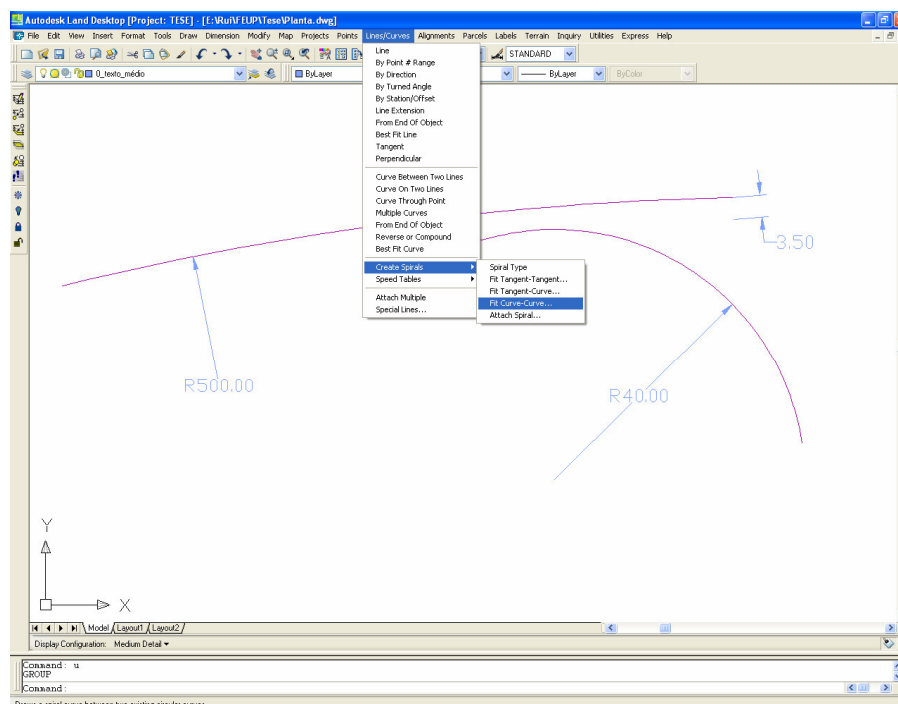


Fig.18 – Selecção da situação a resolver

No menu, que surge na sequência, dever-se-á escolher a situação de espiral composta, como se mostra na figura seguinte:



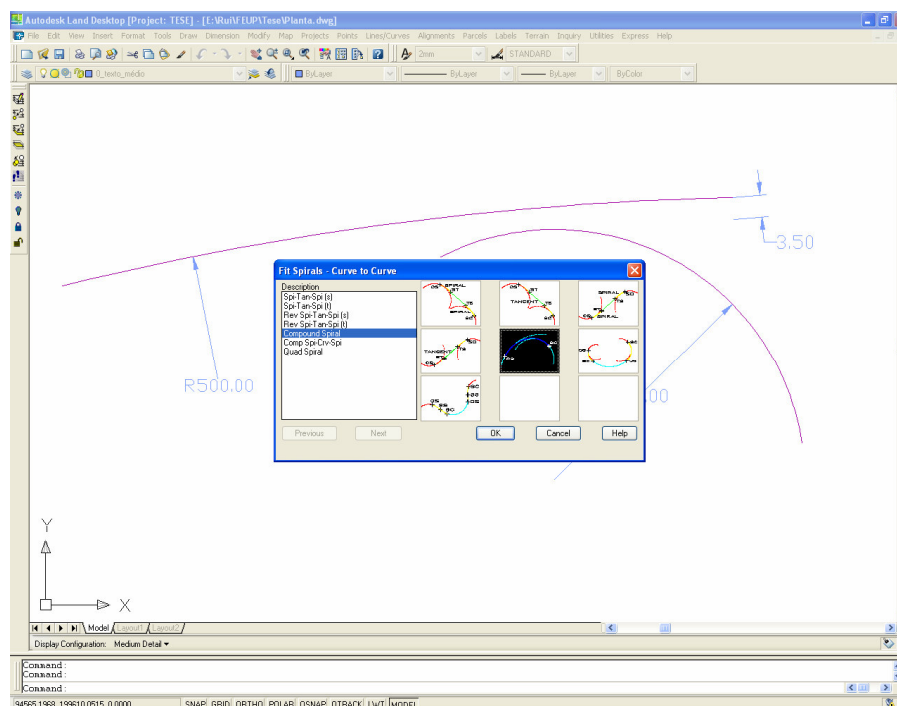


Fig.19 – Selecção do tipo de clotóide

É solicitada a selecção dos dois arcos de circunferência a ligar. Havendo solução para o problema, esta é desenhada de imediato, sendo disponibilizada em simultâneo a solução numérica.

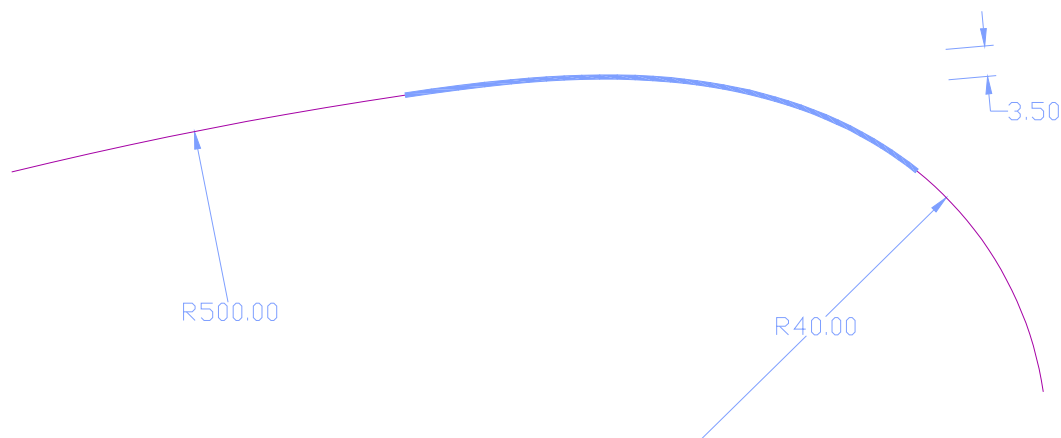


Fig.20 – A clotóide composta

---

COMPOUND SPIRAL DATA: Clothoid

---

CS . . .	North: 199586.8882	East: 94563.6628
SPI . . .	North: 199592.8555	East: 94604.0619
SC . . .	North: 199578.2096	East: 94622.2707
	A : 51.5157	Tau : 0.8240
	Xs: 56.7106	Ys: 17.1495
	Long Tan : 40.8374	Course: 91

Short Tan: 23.3680      Course: 143  
Radius (long): 500.0000  
Length: 61.0391      Radius: 40.0000      Theta: 52

Com uma sequência de meia dúzia de toques com o rato, resolve-se uma situação que anteriormente demoraria largos minutos a concretizar.

### 3.7.2. A DEFINIÇÃO DE EIXOS

O simples facto de desenharmos um conjunto encadeado de rectas e curvas não define um eixo. O Civil Design® trabalha com os denominados “Alinhamentos” definidos a partir do menu “Alignments”. Esta tarefa de definição de um alinhamento é extremamente simples de realizar. Entrando no comando “Alignments>Define from Objects” é pedida a selecção de um elemento constituinte do alinhamento. Deverá ser seleccionado o primeiro dos elementos que constituem o alinhamento, junto da extremidade livre, ou seja, daquela onde se pretende que comece o alinhamento. A verificação da escolha correcta é imediata já que o programa assinala com uma cruz a extremidade inicial que é considerada para esta definição.

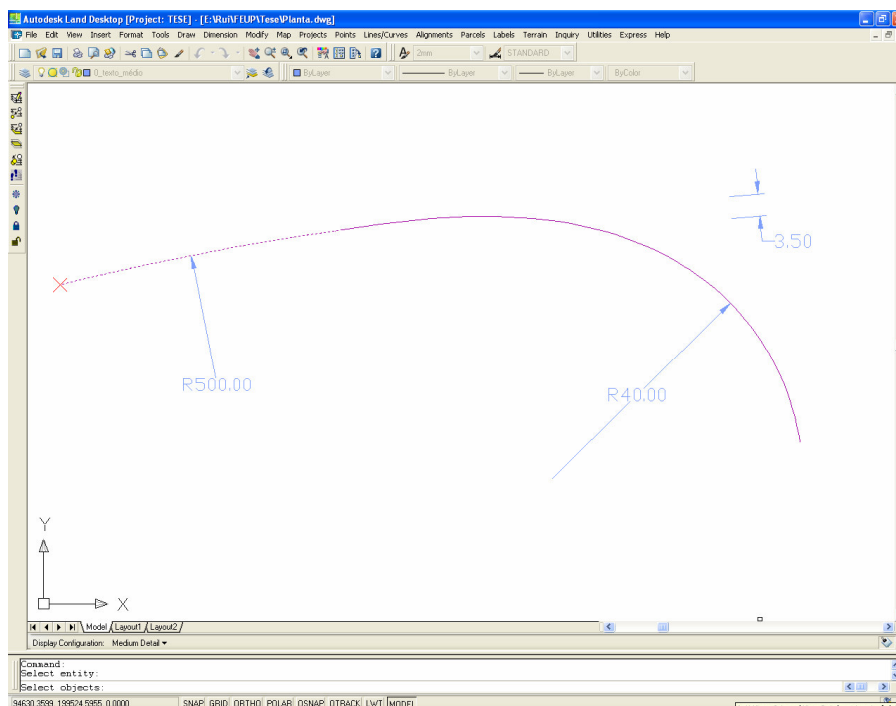


Fig.21 – A selecção do elemento inicial de um alinhamento

A selecção deverá prosseguir de forma a incluir todos os restantes elementos que constituem o alinhamento. Terminada a selecção dos elementos (carregando na tecla Enter duas vezes) deverá ser definido o nome para o alinhamento. Em cada projecto este nome deverá ser único.

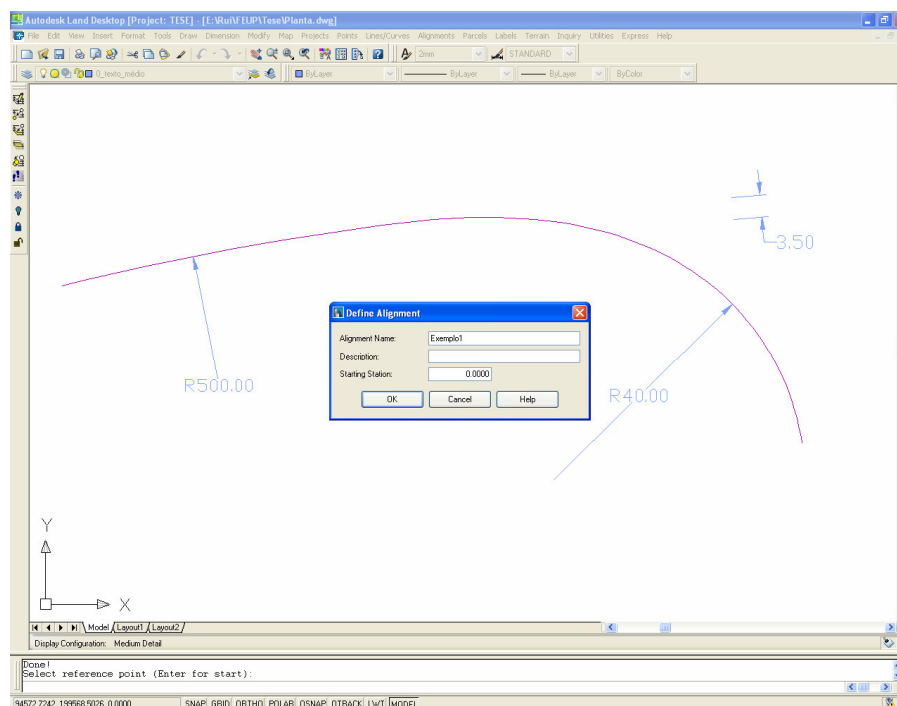


Fig.22 – A definição de um alinhamento

Pode incluir-se uma descrição para o alinhamento e atribuir-se um PK inicial diferente de zero, podendo mesmo ser negativo.

Após esta pequena introdução aos principais comandos de desenho e definição de eixos, está-se em condições de avançar para o projecto do nó, em termos de planta.

### 3.7.3. A DEFINIÇÃO DA PLENA VIA

A geometrização dos ramos de nós unidireccionais é feita, geralmente, pelo bordo direito, ou seja, faz-se coincidir o eixo com a linha fictícia que separa a faixa de rodagem da berma direita. Esta linha geralmente coincide com o limite interior do traço de pintura. Os “engates” dos ramos com a Plena Via fazem-se entre estes eixos e linhas paralelas ao eixo da Plena Vias afastadas deste uma distância determinada pelos Perfis Transversias Tipo (neste caso 12,30 m).

Assim, é fundamental começar por fazer a marcação, em planta, das várias linhas que definem a Plena Via. Os passos a realizar são os seguintes:

- Seleccionar o alinhamento pretendido através do comando “Alignments>Set Current Alignment”.
- Utilizar o comando “Alignments>Create Offsets...”. Este comando abre a caixa de diálogo “Alignment Offset Settings” que deverá ser preenchida com os valores pretendidos (“Layers” e distâncias). Como a caixa de diálogo permite que se façam apenas quatro linhas para cada lado do eixo, teremos que aplicar o comando por duas vezes.

Os “layers” e distâncias ao eixo a considerar para as várias linhas (iguais para a esquerda e direita) são os seguintes:

Tabela 1 – Limites da Plena Via

Função da linha	“Layer”	Distância ao eixo (m)
Limite exterior do separador	0Separador	0,30
Separação Berma Interior / Faixa de Rodagem	0Faixa	1,30
Separação de vias	0Faixa	5,05
Separação Faixa de Rodagem / Via Aceleração (ou Desaceleração)	0Faixa	8,80
Separação Via Aceleração (ou Desaceleração) / Berma Exterior	0Faixa	12,30
Limite da Berma Exterior	0Berma	14,80

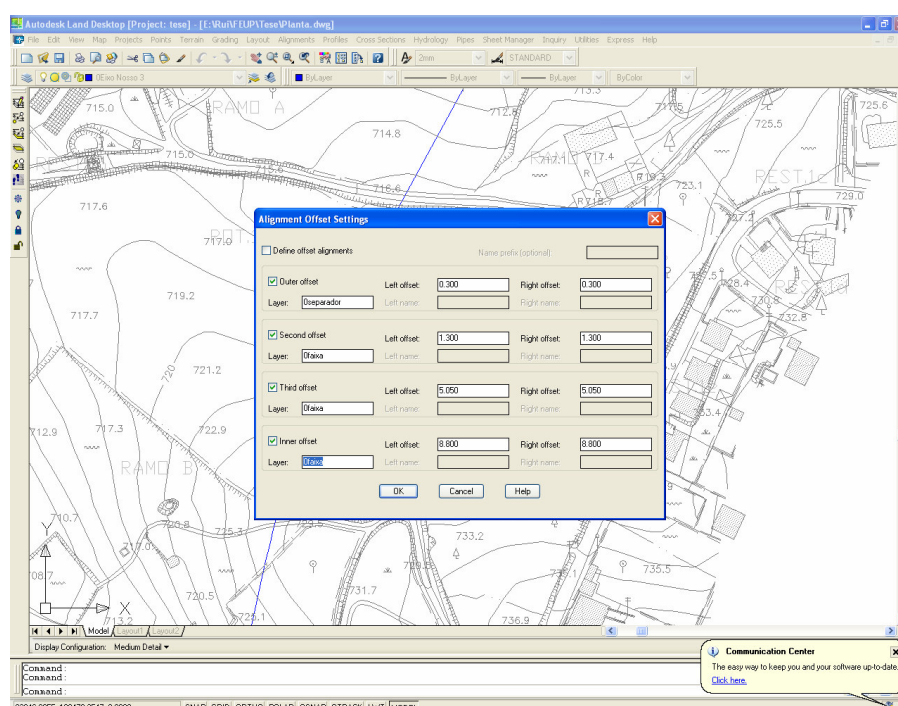


Fig.23 – Definição de distâncias ao eixo “layers” para linhas paralelas ao eixo

Após a aplicação do comando, iremos obter uma série de linhas em planta que definem a plataforma da Plena Via,

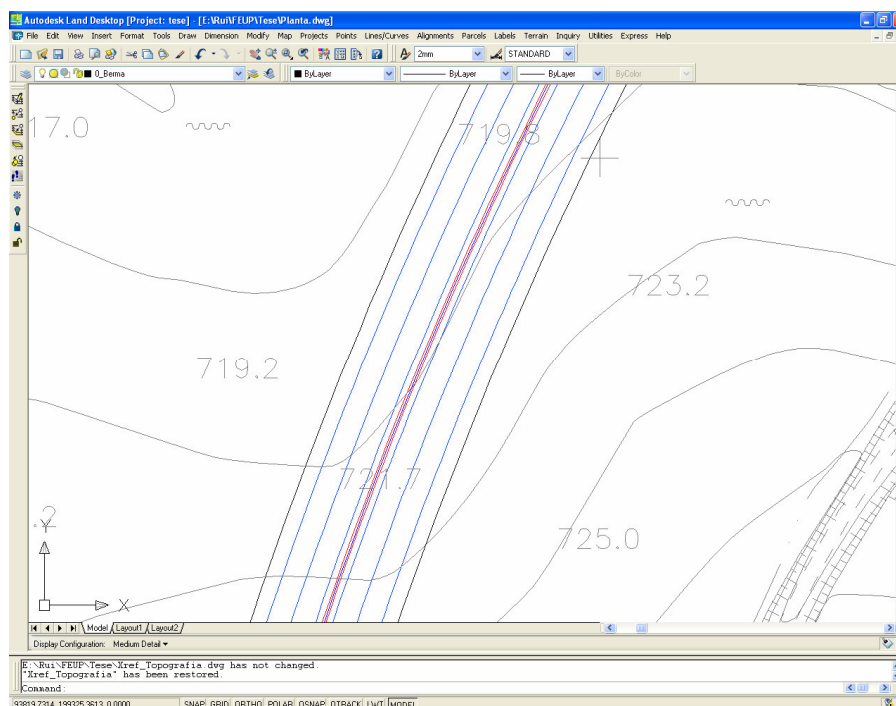


Fig.24 – A Plena Via na zona do nó

### 3.7.4. A LOCALIZAÇÃO E DEFINIÇÃO DAS ROTUNDAS E DO RESTABELECIMENTO QUE AS LIGA

As especificações fornecidas não permitiam grande liberdade da acção para a localização do nó já que era fixada a directriz e rasante da Plena Via e se determinava que a Via Secundária deveria restabelecer um caminho cortado pela construção da via. Para além disso, o nó deveria permitir a ligação à rede urbana existente na zona, Na figura seguinte destacam-se as zonas a servir pelo nó.

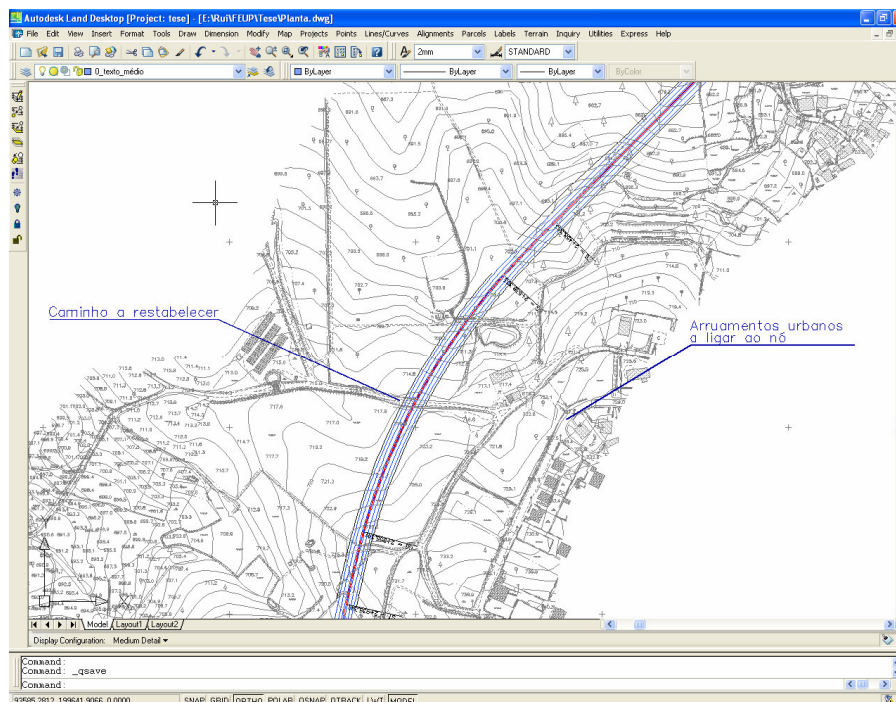


Fig.25 – Ligações a realizar pelo nó

Pelas características de ocupação do solo, espaço disponível e número de ligações a assegurar, a rotunda do lado nascente revelava-se como a de mais difícil implantação. Foi, por isso, estudada em primeiro lugar. Depois de várias tentativas, não ilustradas no trabalho, optou-se por uma rotunda ovalizada, já que o número de ramos que a ela se ligam implicaria, para uma rotunda circular, um diâmetro não compatível com o espaço disponível. A construção desta rotunda fez-se utilizando comandos AutoCad elementares. Após desenhar duas circunferências em posições ensaiadas, definiram-se rectas tangentes às mesmas. A linha assim definida, coincidente com o bordo direito da rotunda, é o eixo geométrico da mesma.

No dimensionamento da rotunda procurou seguir-se o prescrito nas Normas de Intersecções. Se de um dos lados se garantiu o raio interior de 15,0 m, no outro esse raio ficou ligeiramente abaixo deste valor, tendo sido considerado o valor de 12,0 m. Estes valores são perfeitamente aceitáveis, sobretudo em zonas de características urbanas e onde o tráfego de pesados não seja intenso. A largura da faixa de rodagem está de acordo com os Perfis Transversais Tipo que, por sua vez, respeitam as Normas.

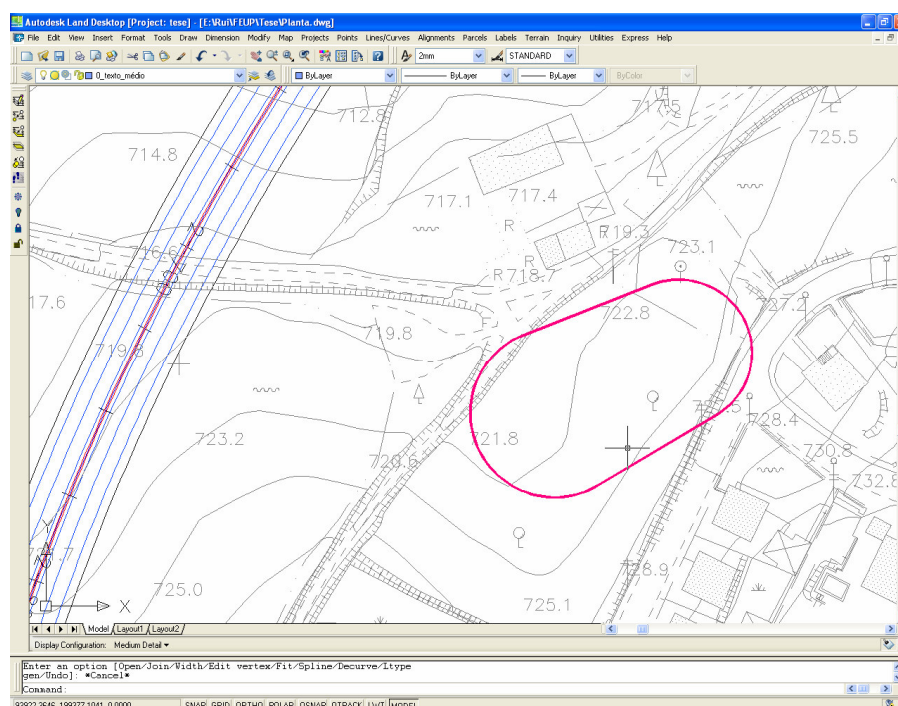


Fig.26 – O eixo da Rotunda Nascente

Seguidamente definiu-se a rotunda do lado ponte. Esta foi colocada a sul do caminho existente já que o terreno desse lado está sensivelmente mais alto que o terreno localizado a norte. Esta situação facilita a ligação a estabelecer entre as duas rotundas. Por não haver constrangimentos especiais, optou-se por uma rotunda circular de raio interior de 15,0 m. A faixa de rodagem é de 8,0 m, com bermas interior e exterior de 1,0 m e 2,5 m, respectivamente.



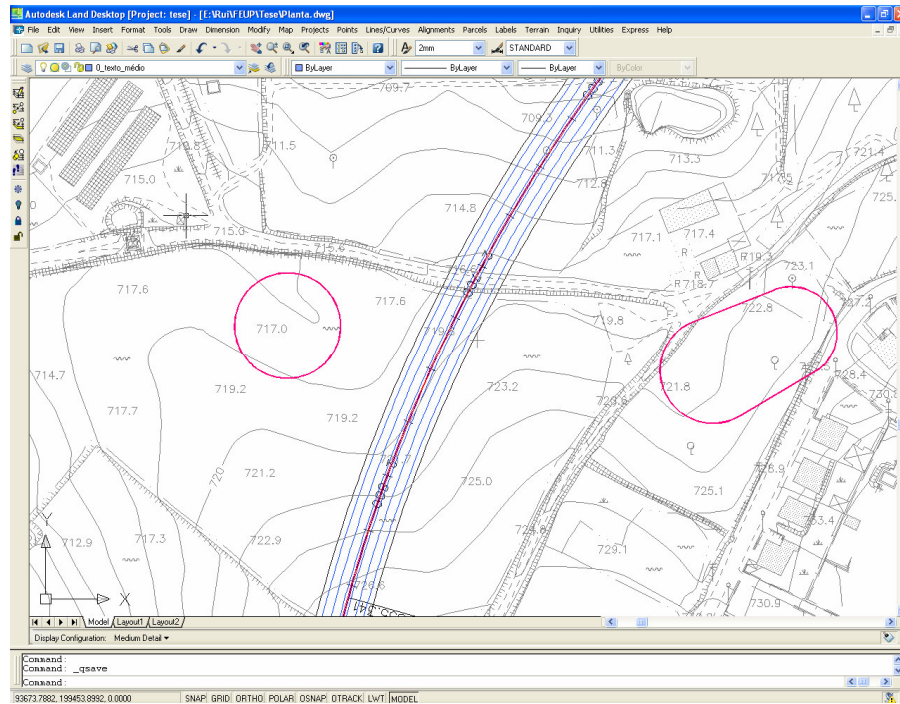


Fig.27 – O eixo da Rotunda Poente

Nesta fase do projecto foi criado o alinhamento que une as duas rotundas e que cruza desnivelado a Plena Via. Este alinhamento tem é constituído por duas rectas perpendiculares às rotundas, concordados por uma curva circular de raio 100,0 m. O atravessamento da Plena Via é feito praticamente na perpendicular a esta.

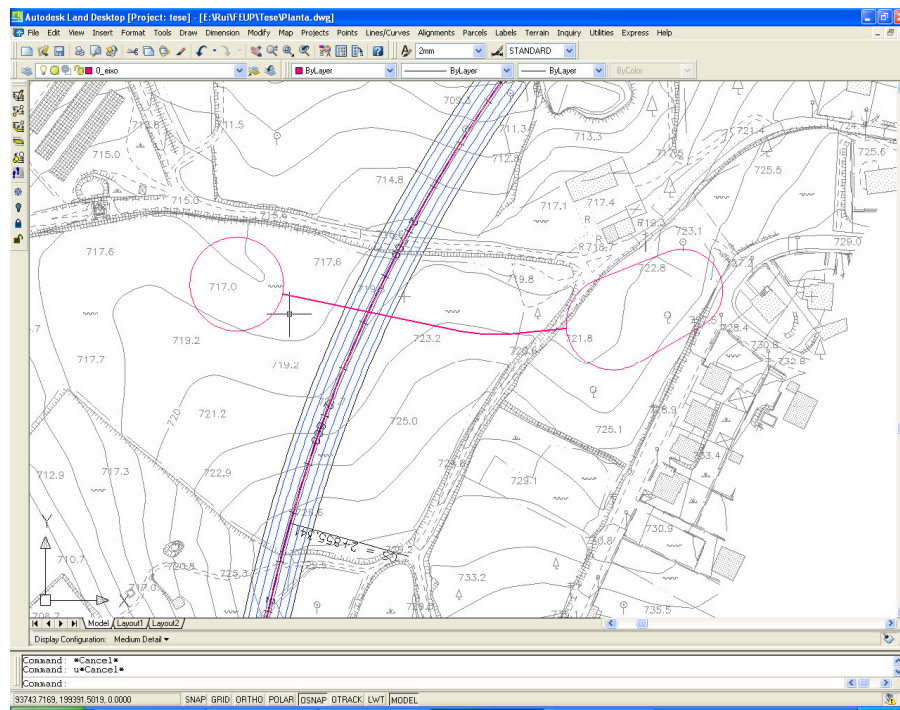


Fig.28 – A eixo de ligação entre rotundas

### 3.7.5. A ANOTAÇÃO DA DIRECTRIZ

É importante que os alinhamentos apresentem certo tipo de anotações tais como marcas identificadoras dos PK e localização dos pontos notáveis, com indicação dos raios e parâmetros das clotóides. O Civil Design® tem comandos que realizam parte destas operações de forma automática. Em primeiro lugar deverão ser definidos os valores dos intervalos entre marcas e etiquetas com indicação da quilometragem. Podem ainda ser definidos os layers em que estes elementos são colocados bem como a posição, relativamente ao eixo, em que estas etiquetas são colocadas.

Através do comando “Alignments>Station Label Settings...” acede-se ao menu de definição dos parâmetros de anotação. Escolheu-se um afastamento de etiquetas de 100,0 m, um intervalo entre marcas de referência de 25,0 m. Para além destes valores assinalou-se a caixa das etiquetas escritas paralelamente ao eixo e a inclusão do sinal “+” a separar os quilómetros dos hectómetros.

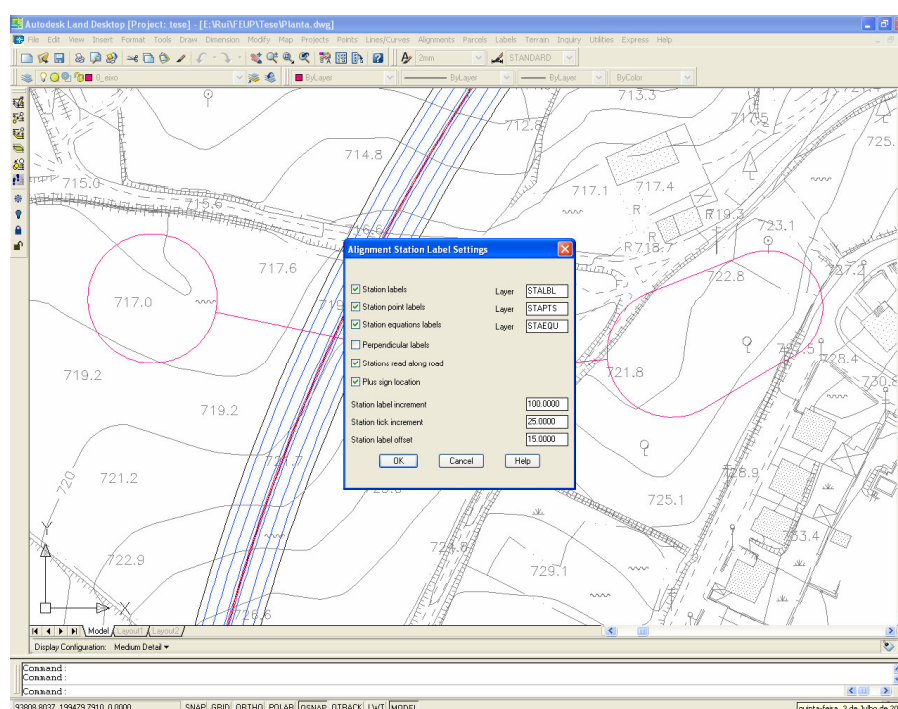


Fig.29 – O menu “Alignment Station Label Settings”

Seguidamente deve seleccionar-se o alinhamento que se pretende anotar e utilizar o comando “Alignments>Create Station Labels”. Na linha de comando é apresentado o nome do alinhamento seleccionado, a sua estação inicial e final. É solicitada a quilometragem a partir da qual se quer proceder à anotação e a quilometragem onde se pretende acabar com a mesma. Por defeito o programa assume as estações iniciais e finais do alinhamento. O resultado é o que se apresenta na figura seguinte em que se anotou o eixo correspondente ao restabelecimento.



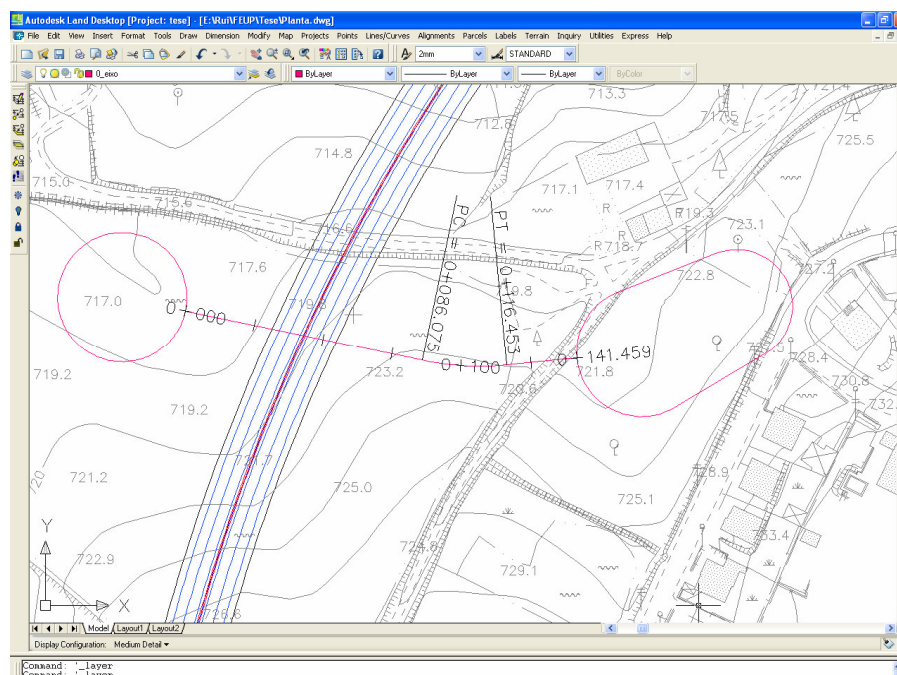


Fig.30 – A anotação de um eixo em planta

Os pontos notáveis são assinalados por uma linha perpendicular ao eixo, com indicação da quilometragem em que se encontram. Esta é uma das limitações deste programa já que é prática dos projectos rodoviários indicar-se nestes pontos notáveis os valores dos raios das curvas circulares e dos parâmetros das clotóides. Neste caso esse trabalho terá que ser realizado manualmente, editando o texto com os comandos do AutoCad.

### 3.7.6. A DETERMINAÇÃO DA POSIÇÃO DE UM PONTO RELATIVAMENTE A UM ALINHAMENTO

A determinação da posição de um ponto (do terreno, de um eixo, etc) relativamente a um eixo é uma funcionalidade muito útil. Para a determinar deve usar-se o comando “Alignments> Station/Offset> Label”. Para escolher um ponto pode activar-se a função OSNAP do AutoCad, que permite total precisão. O comando referencia pontos relativamente ao alinhamento correntemente activo. Esta função irá ser utilizada frequentemente nos pontos que se seguem.

## 3.8. O PERFIL LONGITUDINAL

### 3.8.1. AS CONDICIONANTES ALTIMÉTRICAS

Como pode ver-se no perfil longitudinal da Plena Via, a rasante apresenta na zona do nó uma inclinação acentuada (5%). Esta inclinação dificulta a ligação das rotundas à Plena Via situada a norte do nó, já que a Plena Via e os ramos têm inclinações com o mesmo sentido. No lado sul do nó esta condicionante já não se faz sentir porque a Plena Via e os ramos dos nós terão inclinações de sinal contrário. De todos os ramos do nó, o Ramo D é o mais condicionado já que dos dois situados no lado norte, é o que vence um maior desnível. O perfil longitudinal será dimensionado aproveitando a inclinação máxima permitida pelas Normas e que, no caso, é de 8%.

Pelo exposto, a rasante assume agora um papel fundamental na concepção do nó. Alguns dos ramos terão uma directriz com uma extensão determinada pela necessidade de vencer um certo desnível. A

evolução do projecto passa agora pela definição dos perfis longitudinais de alguns dos eixos. A ordem de definição destes perfis estabelece-se em função dos condicionalismos existentes. Assim, foi considerado o seguinte ordenamento:

- Rotunda 1 – Tem uma série de pontos de cota obrigatória devido às soleiras existentes nos arruamentos urbanos que toca. A proximidade da Plena Via, que é cruzada superiormente é também uma condicionante.
- Restabelecimento – Tem cota obrigatória no ponto extremo final em que toca a Rotunda 1. Para além disso, a inclinação longitudinal final deverá ser igual à inclinação transversal da Rotunda 1 nesse ponto. Em nenhum ponto do polígono definido pela sobreposição das faixa e bermas da Plena Via e do Restabelecimento deverá existir um desnível inferior a 6,0 m (admitindo-se uma altura do tabuleiro da Obra de Arte de 1,0m, garante-se um “gabarit” de 5,0 m). Após o atravessamento da Plena Via, interessa baixar o máximo possível a rasante.
- Rotunda 2 – Condicionada pelo Restabelecimento 1. O ponto em que este restabelecimento toca a Rotunda 2 deverá ser o ponto alto da rasante desta, por razões de drenagem.
- Ramo D – Este será o ramo mais extenso já que deverá vencer um maior desnível. O perfil é condicionado pelas cotas da Rotunda 1 e pela rasante da Plena Via.
- Ramo A – Situação semelhante à anterior mas menos condicionada já que os desníveis a vencer são menores.

Os restantes perfis não apresentam dificuldades especiais.

### 3.8.2. A DEFINIÇÃO DA RASANTE DA ROTUNDA 1

Para a prossecução do desenvolvimento do projecto torna-se necessário apresentar os processos de desenho e definição da uma rasante associada a um alinhamento. Para a definição de um perfil longitudinal com o Civil Design<sup>®</sup> são necessários os seguintes passos:

- Definição de uma superfície (terreno) sobre a qual se define a rasante;
- Definição de um alinhamento.
- Cálculo do perfil do terreno.
- Desenho do perfil do terreno.
- Desenho da rasante.
- Definição da rasante.

Os dois primeiros pontos foram já discutidos. Os comandos referentes ao perfil longitudinal estão agrupados no comando “Profiles” disponível no módulo “Civil Design”. Os comandos do perfil têm, de uma maneira geral, efeito sobre o alinhamento correntemente activo. Antes de avançar no cálculo e desenho deverá ser configurada a forma de apresentação dos perfis. Para isso, aceder ao comando “Profile>Profile Settings>Values”. Na caixa de diálogo que surge, deve-se definir a distância de cotagem dos traineis e das curvas circulares igual a 25 m. O mesmo valor deverá ser definido para o espaçamento dos elementos verticais da grelha do perfil. A precisão das cotas deverá ser de duas casas decimais para o terreno e três casas decimais para a rasante.



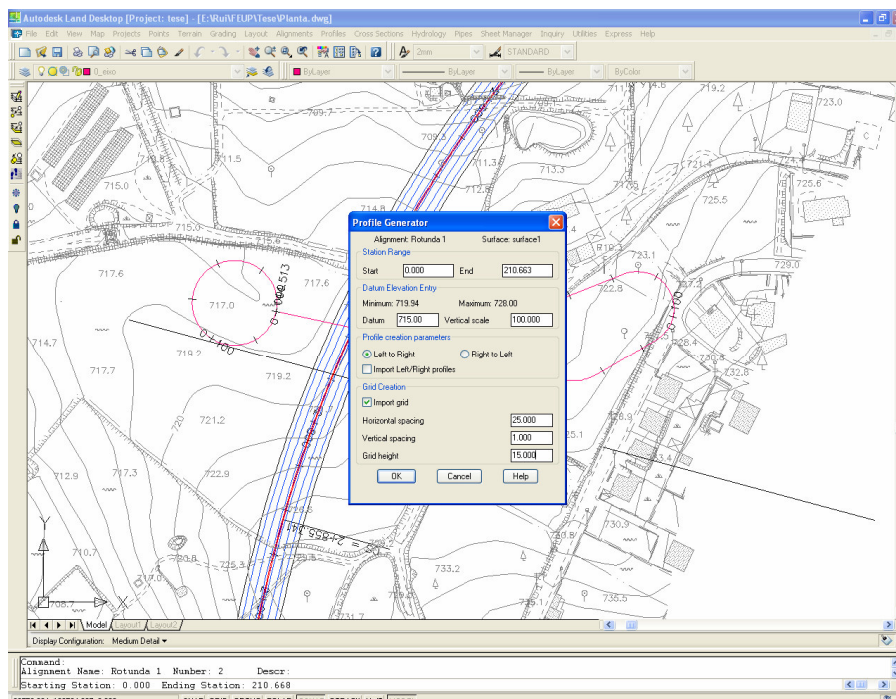


Fig.32 – A definição dos parâmetros específicos de desenho do perfil longitudinal

O programa solicita um ponto do desenho para a colocação do perfil. Dever-se-á escolher uma zona do desenho livre de modo a não correr o risco de sobreposição do perfil sobre qualquer outro elemento. Para finalizar, responder **Não** à pergunta “Delete existing profile layers?”. A resposta **Sim** apaga do desenho todos os outros perfis já definidos. Um engano na resposta pode ser anulado graças ao comando AutoCad “Undo”. Para além disso a definição dos perfis não é perdida.

O perfil do terreno é apresentado na tela do computador com a forma que se apresenta. O perfil é apresentado com a proporção de escalas que se definiu inicialmente quando se configurou o desenho. O tipo de letra e tamanho são os do estilo activo.

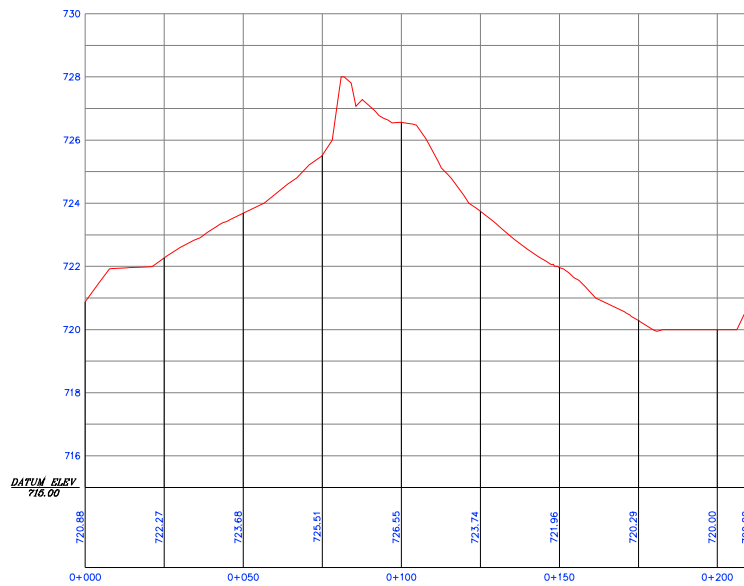


Fig.33 – O perfil longitudinal do terreno da Rotunda 1

Para a definição da rasante interessa localizar pontos de cota condicionada. Para isso determinamos a posição desses pontos relativamente ao eixo da rotunda.

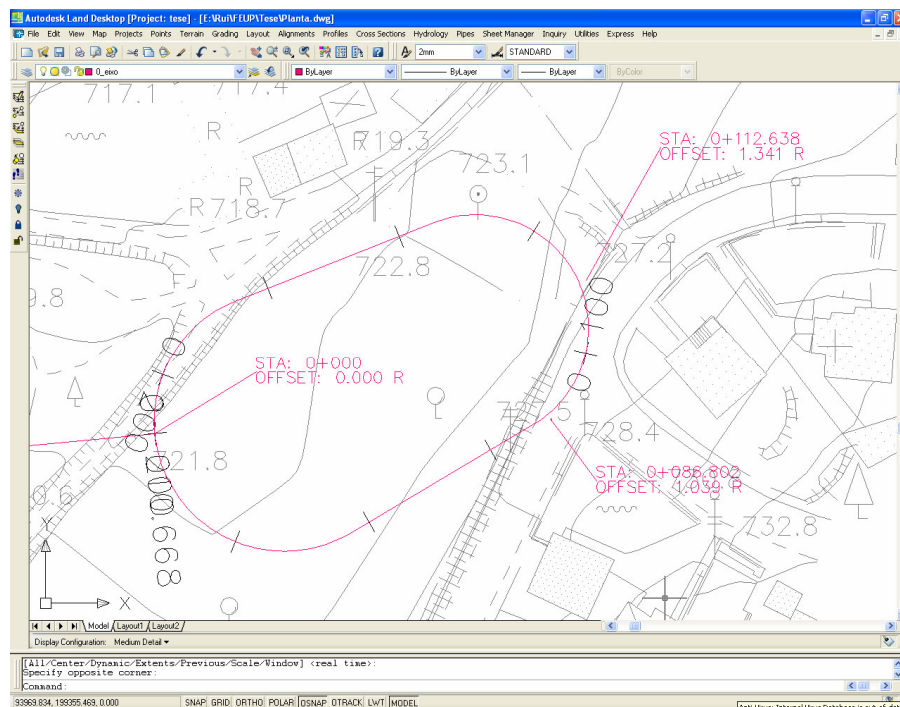


Fig.34 – Pontos de cota condicionada

Pela análise do desenho determina-se que a rasante deverá ter cotas aproximadas a 727.5 e 727.2 na proximidade dos PK 0+086.8 e 0+112.6, respectivamente. Para além disso, estes pontos deverão estar

na zona alta do perfil. Admitiu-se para inclinação máxima dos traineis o valor de 4%. O raio mínimo das concordâncias verticais será de 1000 m.

Dever-se-á garantir que se activa o layer específico para desenho dos elementos da rasante. Para isso usar o comando “Profile>FG Centerline Tangents>Set Current Layer”.

O desenho da rasante é feito construindo uma linha poligonal a partir dos traineis. Estes podem ser definidos com comandos AutoCad de desenho de linhas ou, pretendendo-se um completo controle das suas características, através do comando “Profile>FG Centerline Tangents>Create Tangents”. Os traineis podem ser desenhados por indicação dos parâmetros ou por pontos introduzidos graficamente.

As curvas verticais têm de ser desenhadas através do comando “Profiles>FG Vertical Curves”. Este conduz a uma caixa de diálogo onde a curva pode ser definida através de vários parâmetros. Os mais úteis são a definição do raio (o programa trabalha com o parâmetro  $K=R/100$ ), a definição do desenvolvimento da concordância ou a definição de um ponto de passagem obrigatória. Escolhido o parâmetro definidor, o programa pede para ser seleccionado o trainel de entrada, o trainel de saída e, se for o caso, o valor do parâmetro. Antes de desenhar uma curva vertical, dever-se-á verificar se os traineis a concordar definem um vértice.

Quando todos os traineis e concordâncias estiverem definidos deverá ser definida a rasante. Para isso utilizar o comando “Profile>FG Vertical Alignments>Define FG Centerline”. O programa pede-nos para seleccionar o ponto inicial da rasante (clicar no trainel inicial, perto da extremidade) e, em seguida, para seleccionar todos os elementos que integram a rasante.

O perfil ficará pronto se o apresentarmos devidamente anotado e cotado. Para isso usamos o comando “Profile>FG Vertical Alignments>Import”. À pergunta “Label tangents and vertical curves” manter a opção **Sim**. Responder **Não** à pergunta “Delete finished ground profile layer”.

Nos passos seguintes pretende-se ilustrar o exposto e simultaneamente demonstrar a flexibilidade do programa na construção de uma rasante: O alinhamento escolhido é o da Rotunda 1. Numa zona próxima do perfil do terreno que desenhámos define-se um trainel a começar num qualquer ponto, com uma extensão de 50 m e inclinação de 4%. Sem sair do comando definimos um segundo trainel com uma extensão de 50 m e inclinação de -4%. No fim desta sequência deveremos ter um desenho semelhante ao que se apresenta em seguida:

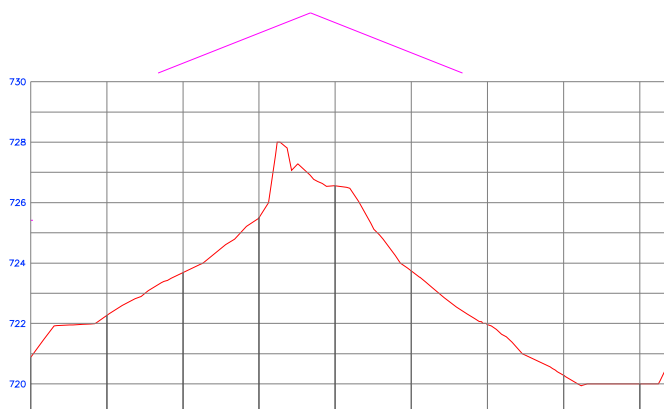


Fig.35 – A construção da rasante (1)

Construímos em seguida uma concordância vertical, de raio 1000 m ( $K=10$ ) a ligar os dois traineis: usando o comando “Profiles>FG Vertical Curves”, surge a caixa de diálogo que se apresenta seguidamente:

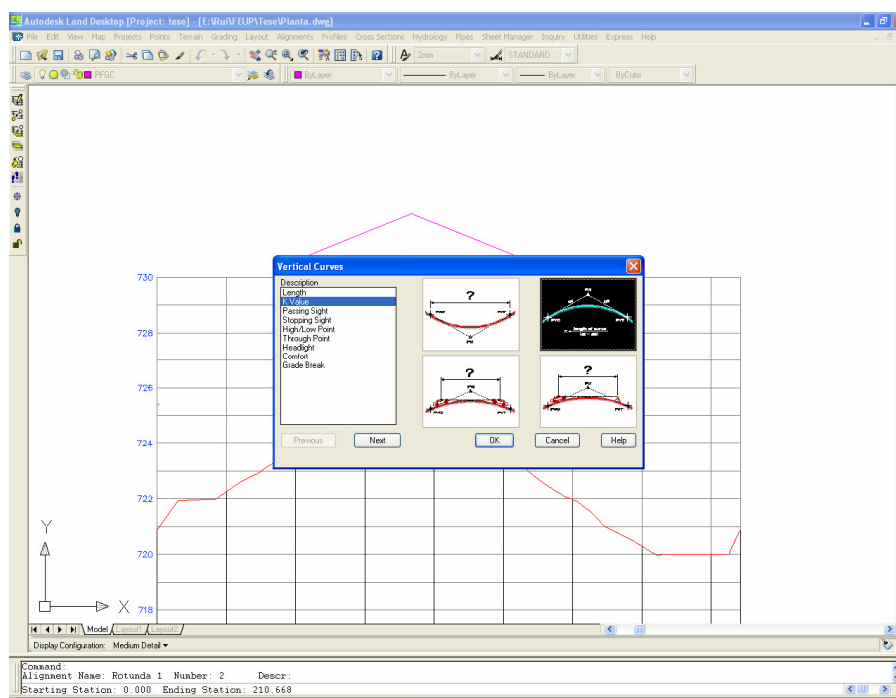


Fig.35 – A construção da rasante (2) – O desenho de uma concordância vertical

Seleccionando seguidamente os dois traineis anteriormente desenhados e definindo para K o valor 10, obtemos um conjunto como o que se apresenta:

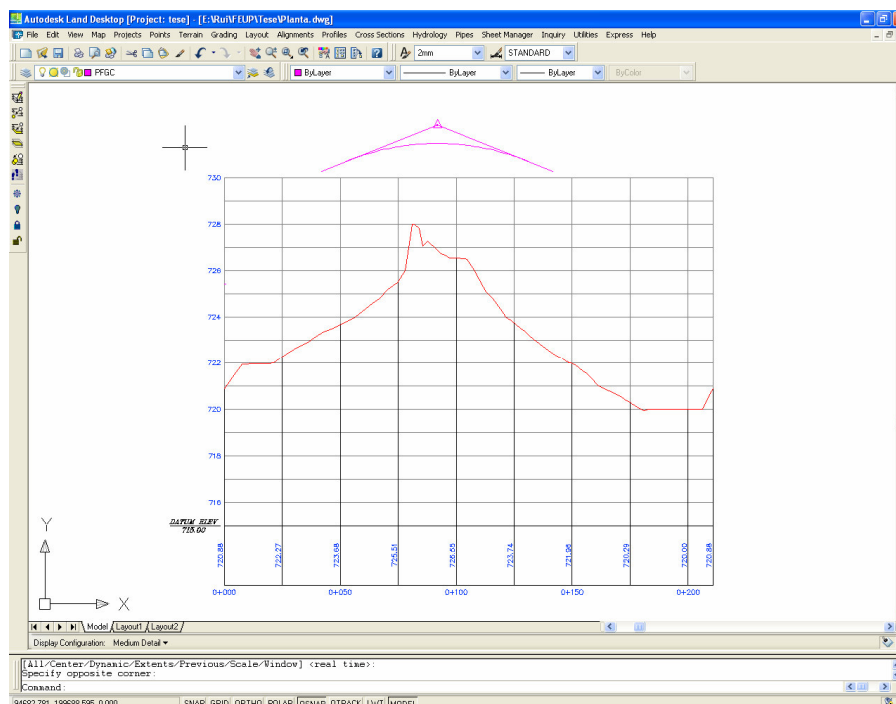


Fig.36 – A construção da rasante (3)



Seguidamente, marcam-se no perfil os pontos por onde deverá passar a rasante. Com o comando MOVE do AutoCad, movemos o conjunto formado pelos traineis e pela curva vertical de modo a que passem no centro das pequenas circunferências que assinalam os pontos de passagem obrigatória. Este ajuste poderá ser feito com mais ou menos rigor. No nosso caso o resultado é o seguinte:

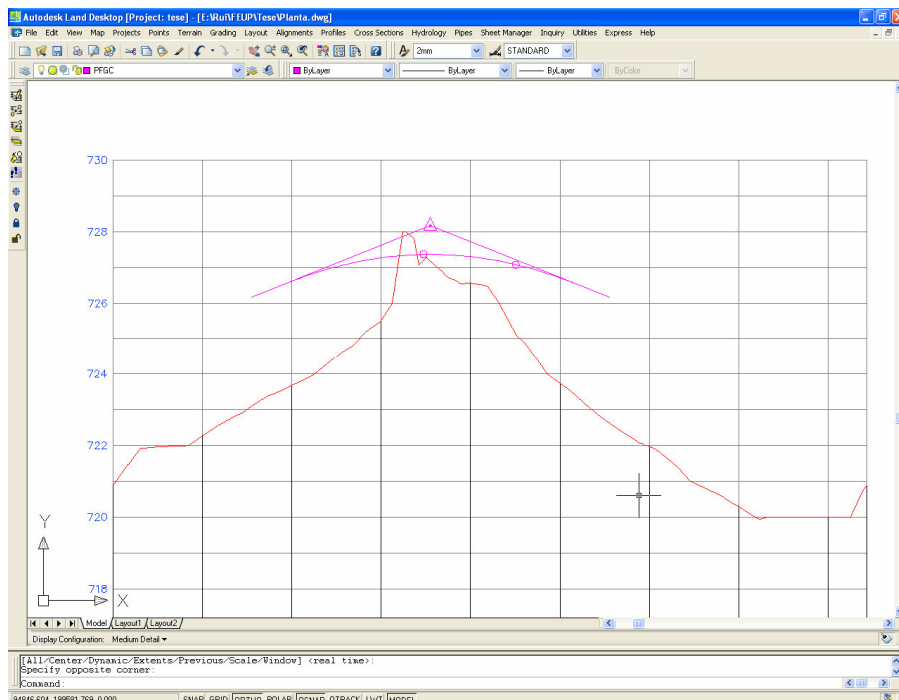


Fig.36 – A construção da rasante (4) – O ajuste da rasante a pontos específicos

Assumindo que os traineis de 4% ligam a traineis horizontais ( $i=0\%$ ) o raio 1000 m exige um desenvolvimentos de 20 m. Com estes valores construímos a rasante, sem esquecer o facto de que numa rotunda os pontos inicial e final são o mesmo devendo ter, por essa razão, a mesma cota e inclinação longitudinal. A rasante que resulta de é a que se apresenta na figura seguinte.

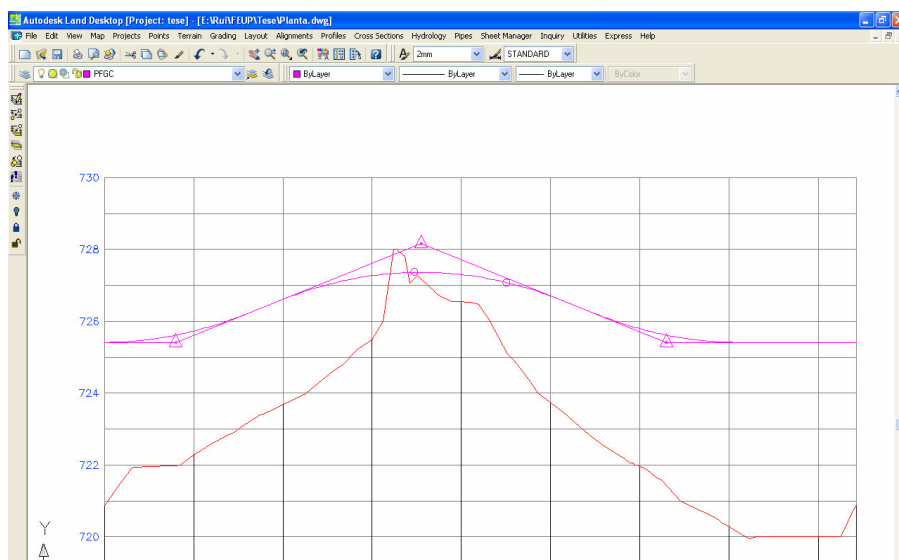


Fig.37 – A construção da rasante (5)



O passo seguinte consiste na definição da rasante a partir dos elementos desenhados. Usando o comando “Profile>FG Vertical Alignments>Define FG Centerline”, definimos a rasante. Para anotar e cotar o desenho usamos o comando “Profile>FG Vertical Alignments>Import”. O resultado final é o que se apresenta na fífura seguinte:

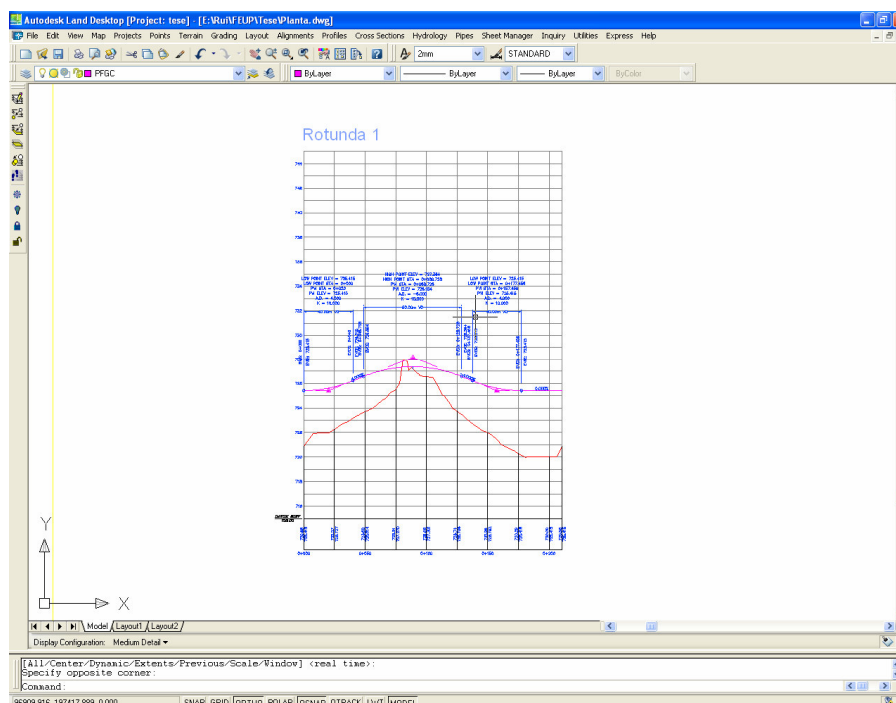


Fig.38 – O perfil longitudinal da Rotunda 1

A partir deste momento a determinação de cotas ao longo da rasante é de uma grande simplicidade. através do comando “Profile>FG Vertical Alignments>List Elevations” (ou Profile>List >List Elevations).

### 3.8.3. O PERFIL LONGITUDINAL DO RESTABELECIMENTO 1

Na lista dos alinhamentos mais condicionados em termos de perfil surge em segundo lugar o Restabelecimento. Como se referiu no início da discussão relativa ao perfil longitudinal em nenhum ponto do polígono definido pela sobreposição das faixa e bermas da Plena Via e do Restabelecimento deverá existir um desnível inferior a 6,0 m (admitindo-se uma altura do tabuleiro da Obra de Arte de 1,0m, garante-se um “gabarit” de 5,0 m). Interessa pois definir desde já o referido polígono. Com o comando “Alignments>Create Offsets”, já utilizado anteriormente, marcam-se as linhas definidoras da plataforma do restabelecimento. Neste caso, O Perfil Transversal Tipo indica uma faixa de rodagem bidireccional com 7,0 m de largura total, com bermas exteriores de 1,5 m.

Sem grande dúvida neste caso, determina-se que o ponto crítico deste polígono será o designado pela letra C:

- Relativamente à Plena Via é um ponto do extradorso de uma curva circular, logo o ponto mais alto do perfil transversal do PK a que pertence. É simultaneamente o ponto de maior distância à origem logo é aquele que tem cota mais elevada em termos de rasante.
- Relativamente ao restabelecimento e sabendo que o perfil transversal deste é do tipo duas águas e que o perfil longitudinal terá tendência a descer quando nos deslocamos desde a

Rotunda 1 para a Rotunda 2, facilmente se conclui que este será o ponto de cota mais baixa relativamente ao restabelecimento;

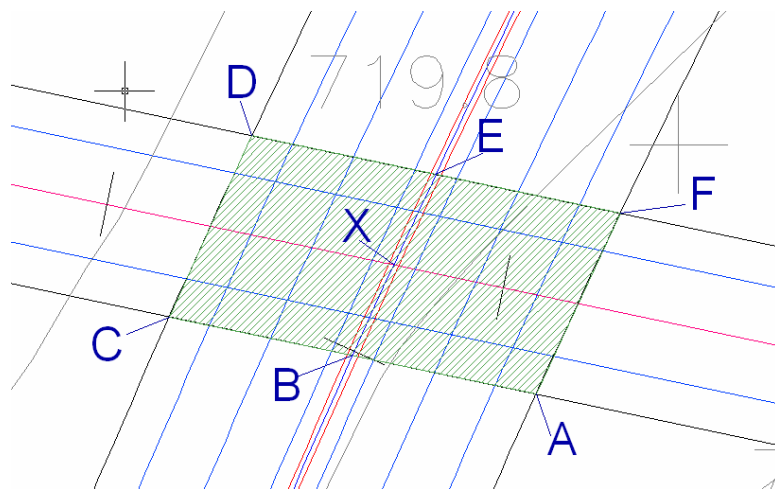


Fig.39 – O polígono de controlo de “gabarit”

Com a ajuda do comando “Alignments> Station/Offset> Label” determinamos a posição do ponto C relativamente aos alinhamento. A partir daqui teremos que determinar a rasante do restabelecimento de modo a respeitar a condição de “gabarit”.

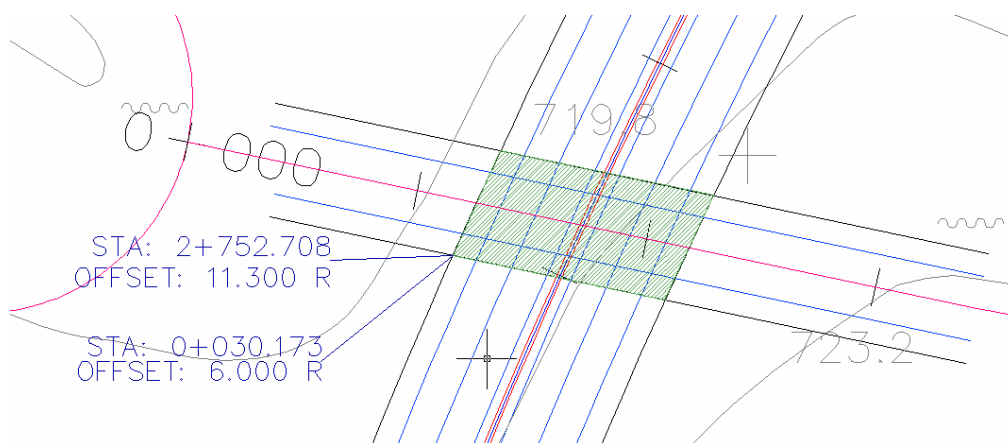


Fig.40 – Determinação da posição do ponto crítico relativamente aos alinhamentos

Com o comando “Profile>List >List Elevations” determinamos a cota da Plena Via ao PK 2750,708. O seu valor é de 713,498. Projectado esta cota para o limite da berma, considerando uma sobreelevação de 5,5%, a cota do ponto C na faixa inferior é de:

$$Z_c' = 713,498 + 0,055 \times 11,0 = 714,103$$

A cota do ponto C na faixa superior terá de ser, no mínimo:

$$Z_c'' = 714,103 + 6,0 = 720,103$$

Projectando este valor para o eixo do restabelecimento (considerando uma inclinação transversal de 2,5%) teremos:

$$Z = 720,103 + 0,025 \times 6,0 = 720,253$$

Resumindo as condicionantes para o perfil longitudinal do Restabelecimento 1:

O ponto final terá cota fixada pelo perfil longitudinal da Rotunda 1 e a inclinação longitudinal final da rasante deverá ser semelhante à inclinação transversal da Rotunda 1; concretizando deverá ser:

Tabela 2 – Condicionantes da rasante do Restabelecimento 1

Estação	z	i (%)	Comentário
0+141,459	725,415	1,0	Condicionados pela rasante da Rotunda 1
0+030,173	720,253	> 5,5	Para garantir o “gabarit” de 5,0 m na Plena Via
0+000		2,5	Inclinação transversal na Rotunda 2

Para garantir estas condicionantes desenharam-se os seguintes traineis:

- Pelo ponto final (0+141,459;725,415) fez-se passar um trainel com uma inclinação de +1,0% (a subir no sentido dos quilómetros crescentes);
- Pelo ponto (0+030,173;720,253) fez-se passar um trainel com uma inclinação de +7,0% (a subir no sentido dos quilómetros crescentes);
- Pelo ponto deste último trainel situado a 22,5 m da origem fez-se passar um trainel com uma inclinação de +2,5% (a subir no sentido dos quilómetros crescentes) garantindo uma concordância vertical com 1000 m de raio;

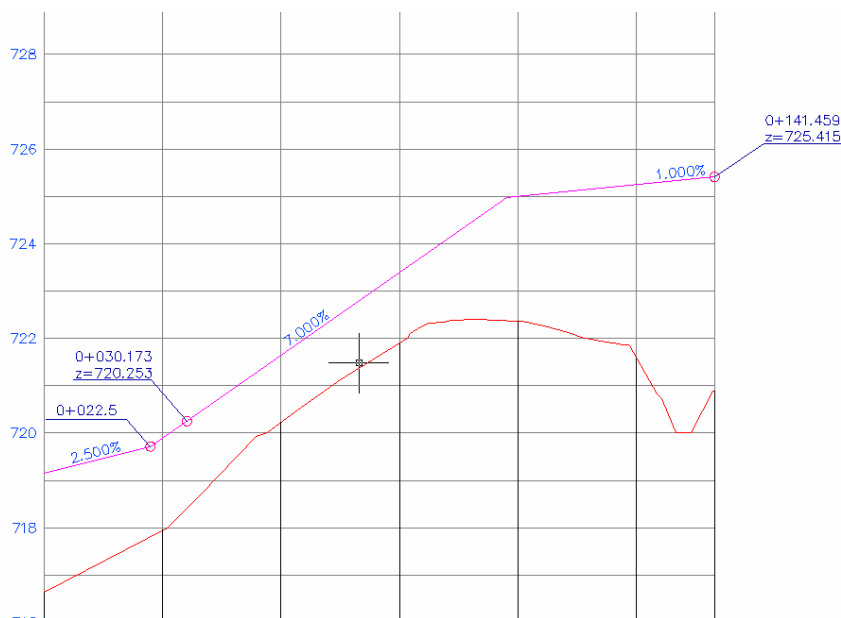


Fig.41 – O desenho da rasante do Restabelecimento 1, em função das condicionantes

Para as concordâncias dos traineis foram utilizadas curvas verticais com raio mínimo igual a 1000 m. Esta construção determina um ponto da rasante da Rotunda 2, como veremos em seguida.

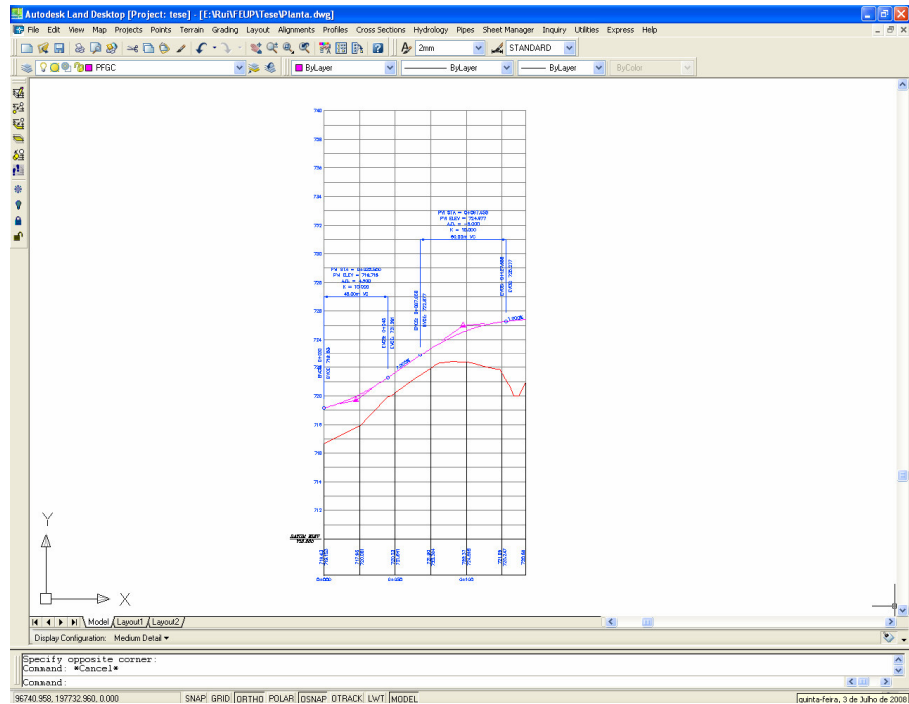


Fig.41 – O perfil longitudinal do Restabelecimento 1

#### 3.8.4. O PERFIL LONGITUDINAL DA ROTUNDA 2

A única condicionante existente é de que a cota no PK 0+000 deverá se a mesma da considerada para o PK 0+000 do Restabelecimento 1 ( $z=719,153$ ). Para além disso interessa que a rotunda tenha o ponto baixo do seu lado poente para melhor ligar ao terreno existente. Assumindo inclinações longitudinais máximas de 2,5% e raios mínimos para as concordâncias verticais de 800 m, é definida a rasante da rotunda sem dificuldades especiais.

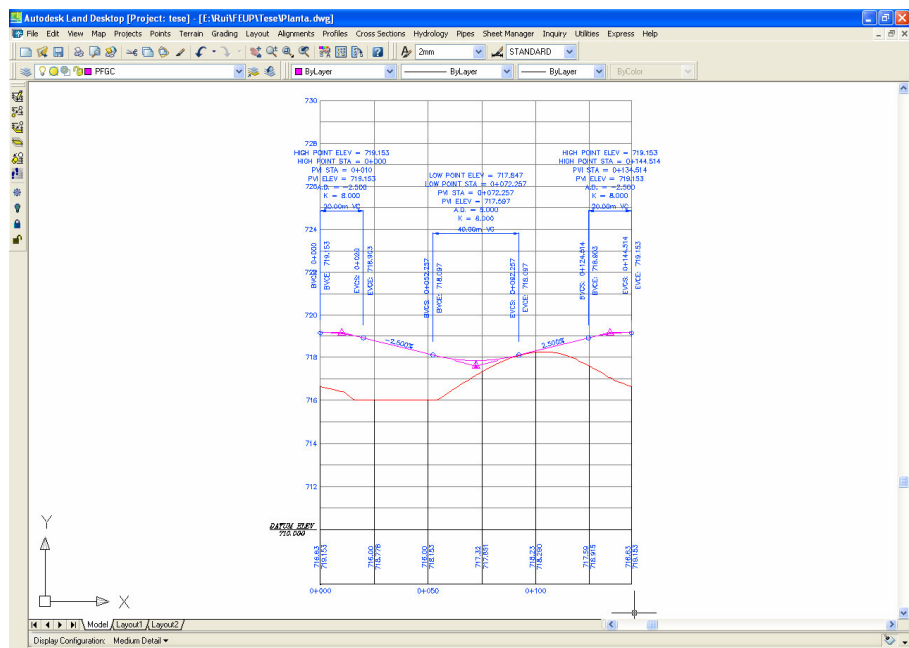


Fig.42 – O perfil longitudinal do Rotunda 2

### 3.9. O TRAÇADO DOS RAMOS DOS NÓS

#### 3.9.1. CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO

Neste ponto faz-se uma pausa na descrição dos processos de desenho para justificar algumas das opções tomadas no traçado dos ramos dos nós. Os ramos de um nó em diamante são do tipo directo. No seu traçado em planta as curvas circulares utilizadas são, geralmente, de raios razoáveis e quase colineares. Estas duas características conduzem à impossibilidade de construção de curvas de transição, já que o ângulo de desvio formado entre os alinhamentos rectos a concordar é muito pequeno. Esta situação verificou-se sistematicamente nos ramos do nó em análise. Apenas nas entradas na Plena Via (final do Ramo B e final do Ramo D) se forçou a utilização de curvas de transição.

A variação de sobrelevação faz-se ao longo dos alinhamentos rectos sem dificuldades especiais. Para os valores de raios em planta considerados as questões de sobrelargura não se colocam.

#### 3.9.2. O RAMO D

Como se referiu no ponto 3.8, o traçado dos ramos dos nós é condicionado por questões de rasante. Nomeadamente o Ramo D, o mais crítico em termos de desnível entre os seus extremos, terá o seu traçado em planta definido em função de um desenvolvimento mínimo que assegure inclinações longitudinais compatíveis com o clausulado das Normas.

Este é um processo que implicará algumas tentativas até se atingir uma solução aceitável. Contudo podemos estabelecer uma estratégia que nos aproxime, logo à partida, dessa solução. Essa estratégia consiste no seguinte:

Definimos um troço inicial do ramo, desde o ponto 0+000, até uma posição aproximadamente paralela à Plena Via mas suficientemente afastado para que os taludes não interfiram entre si.

Determinamos a quilometragem inicial e final do ramo e também a posição destes pontos relativamente à Rotunda 1 (ponto I) e à Plena Via (ponto F)

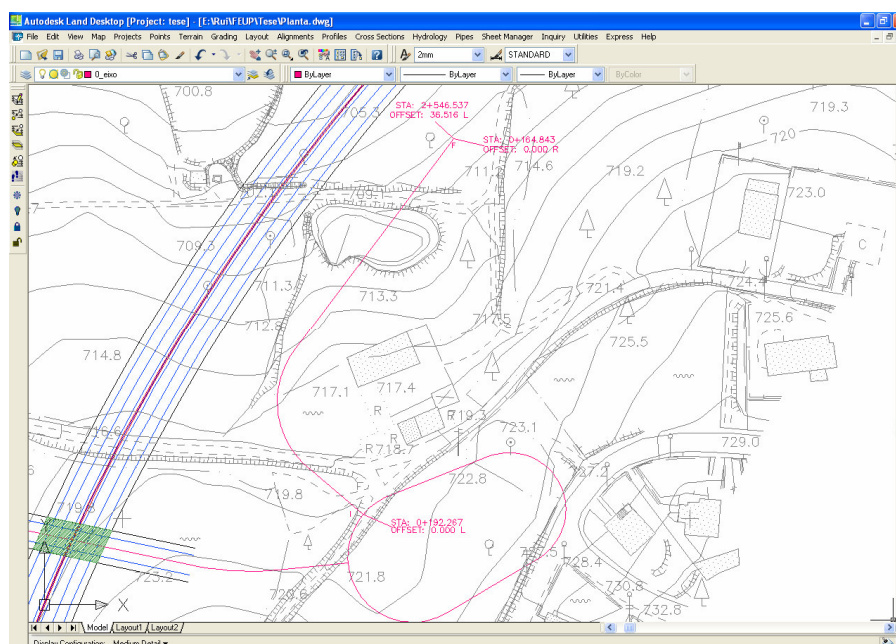


Fig.43 – Definição do troço inicial do Ramo D

Tabela 3 – Condicionantes da rasante do Ramo D

Estação	z	i (%)	Comentário
0+000	725,415	-2,5	Condicionados pela rasante da Rotunda 1
0+164,843		-8,5	Inclinação máxima da rasante

Assumindo uma concordância com 50 m de desenvolvimento, obtém-se uma cota para o extremo provisório do ramo:

$$z = 725,415 - 0,025 \times 25 - 0,085 \times (164,843 - 25) = 712,90$$

Se no perfil longitudinal da Plena Via fizermos passar um trainel pelo ponto (2+546,537;712,90) com uma inclinação de 8,5%, e o interceptarmos com a rasante ficamos a conhecer a extensão aproximada que o ramo deverá ter.

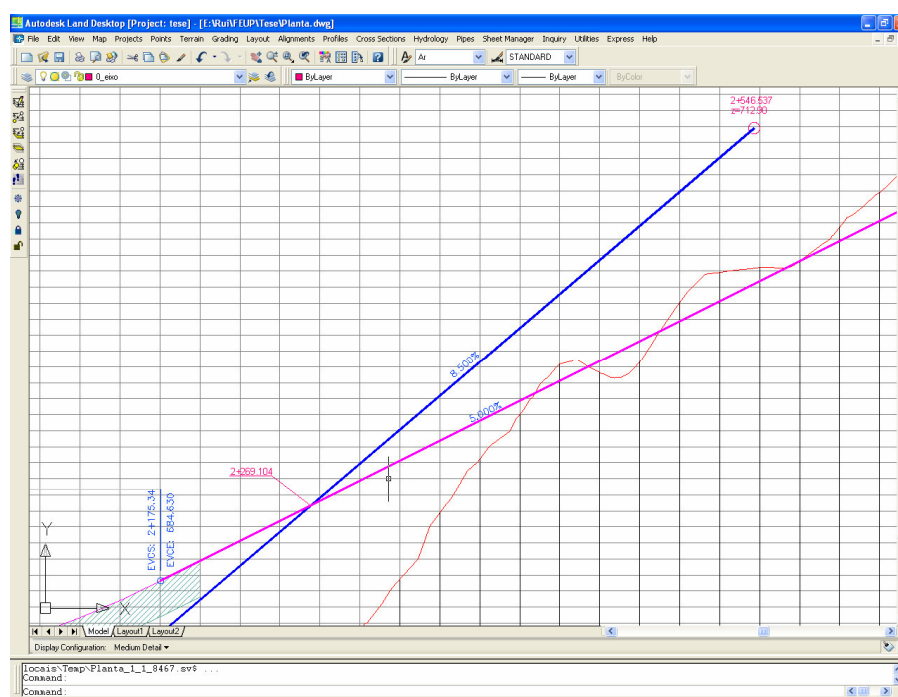


Fig.44 – Determinação aproximada da localização do final do Ramo D relativamente à Plena Via

Deveremos ter em conta que o eixo do Ramo deverá concordar com o bordo da Plena Via e de que a concordância vertical final deverá ter um raio elevado. Levando em conta estas considerações considera-se que o Ramo D se desenvolverá até ao início do Viaduto previsto para a Plena Via.

Estamos agora em condições de geometrizar a totalidade do Ramo D. Este seguirá uma trajectória sensivelmente paralela à Plena Via, numa extensão total de cerca de 508 m. A ligação do eixo do ramo far-se-á à linha do bordo da Plena Via, afastada do seu eixo de 12,30m, através de uma curva circular de raio 120m e de arcos de clóide com 30 m de desenvolvimento. A construção desta curva é demonstrada nas figuras seguintes.

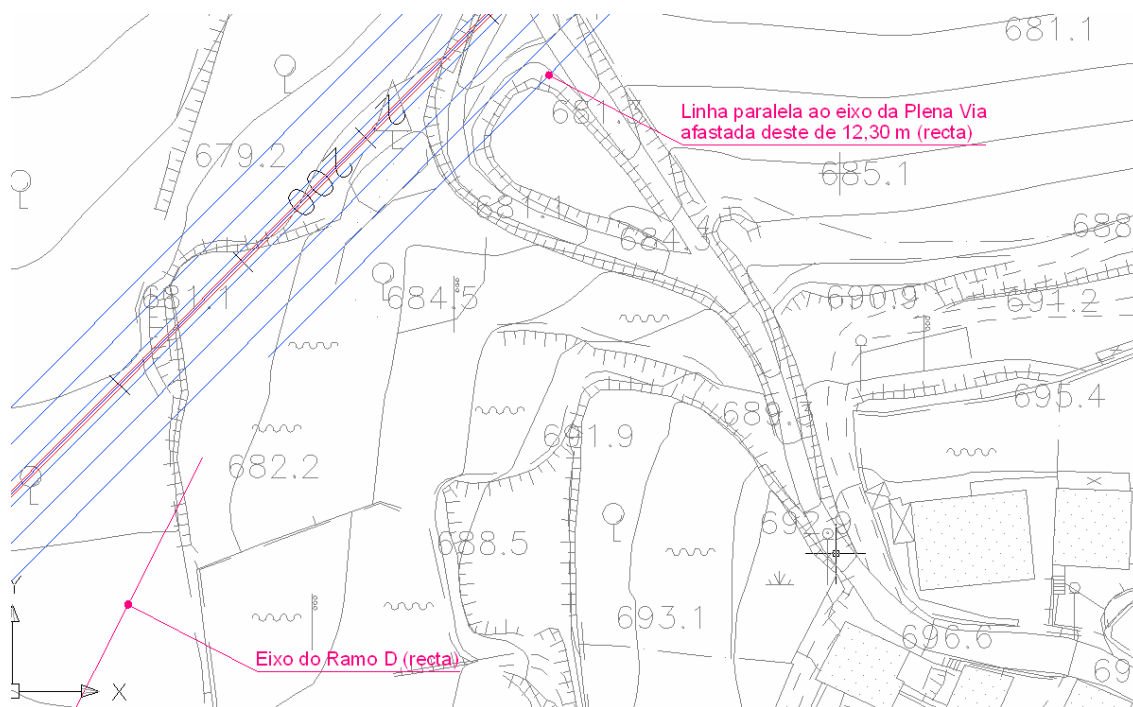


Fig.45 – Construção da curva de ligação Ramo D/ Plena Via

Os comandos necessários para a construção de curvas em planta estão agrupados no menu “Lines/Curves” do módulo “Land Desktop Complete” (ver 3.6).

Usando o comando “Lines/Curves>Create Spirals>Fit Tangent-Tangent” surge a caixa de diálogo que se apresenta seguidamente:

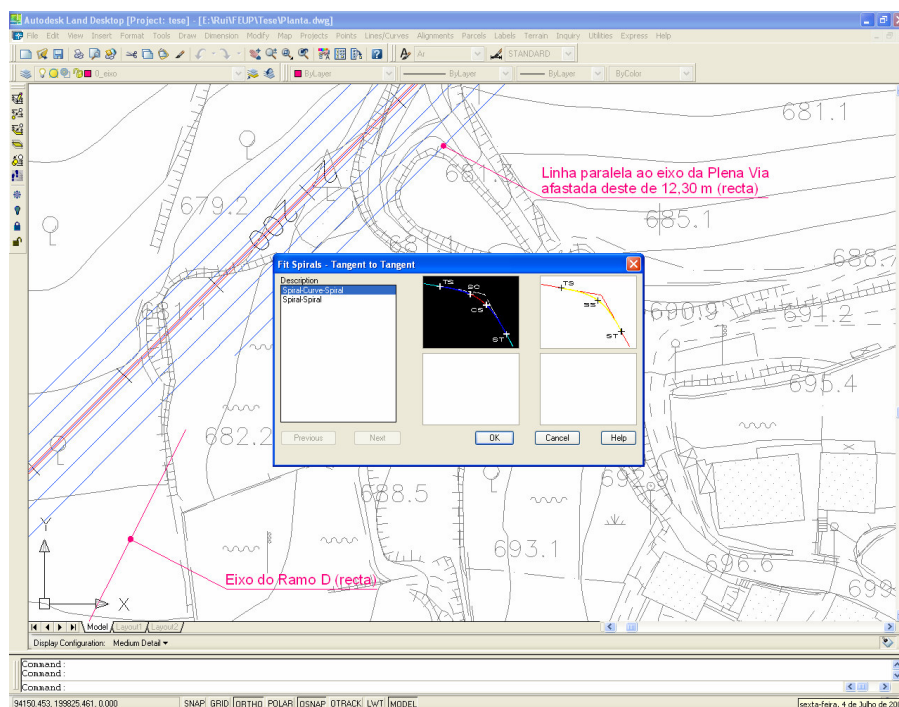


Fig.46 – A caixa de diálogo “Create Spirals – Tangent to Tangent”



Na sequência do comando, é pedida a indicação das linhas rectas a concordar, o raio da curva circular e o valor do parâmetro ou do desenvolvimento das clotóides. Os valores destes últimos podem ser diferentes para a clotóide de entrada e para a de saída. Concluindo o comando, usando os valores indicados anteriormente, o resultado é o que apresenta:

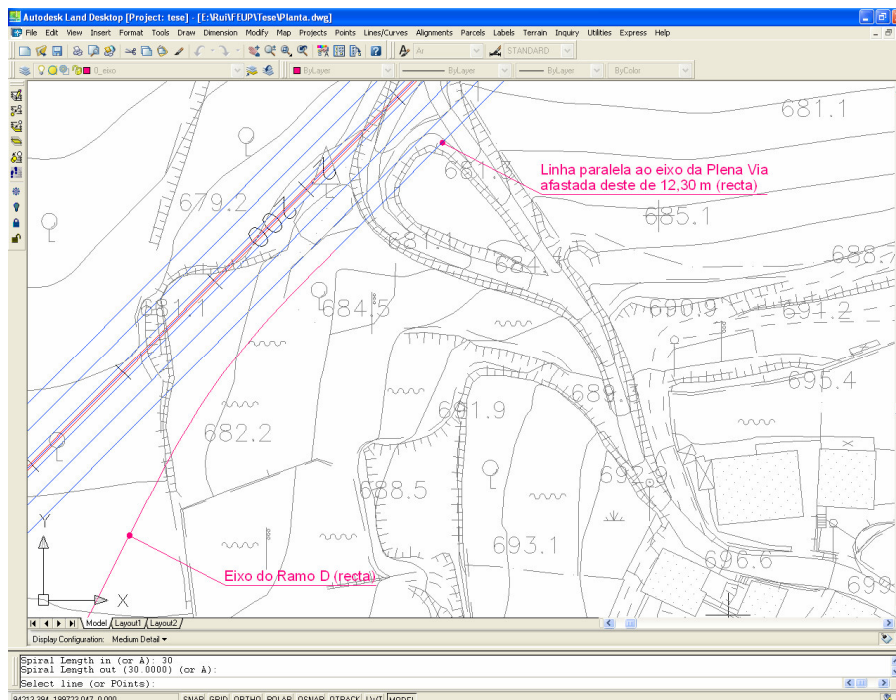


Fig.47 –A ligação Ramo D/ Plena Via

O passo seguinte consiste na definição do alinhamento “Ramo D” e na sua anotação, utilizando os processos e comandos já descritos anteriormente.

Para a conclusão do dimensionamento do Ramo D falta a definição da ligação deste à Plena Via, em termos de perfil longitudinal. Estas ligações são quase sempre trabalhosas já que exigem a compatibilização de vários aspectos:

- A cota e a inclinação da rasante do ramo são as do bordo da Plena Via.
- Na zona em que o ramo “encosta” à Plena Via, a consideração de uma inclinação única para toda a plataforma impõe cotas na rasante do ramo.

Esta situação será ilustrada com a construção do perfil longitudinal do Ramo D.

A maneira mais prática de sistematizar este processo, por vezes iterativo, e quase sempre de assunção de compromisso, consiste na elaboração de um quadro, onde se estabelecem as relações entre os alinhamentos em estudo, em termos planimétricos e altimétricos. No caso em estudo começamos por determinar as relações de três pontos, com os eixos da Plena Via e do Ramo D. A localização dos pontos de controlo é função do que foi dito anteriormente. O ponto C, embora não sendo determinante para o estabelecimento da rasante, deve ser controlado de modo a não termos situações de rampa acentuada na “zona morta” junto ao “nariz” do ramo.



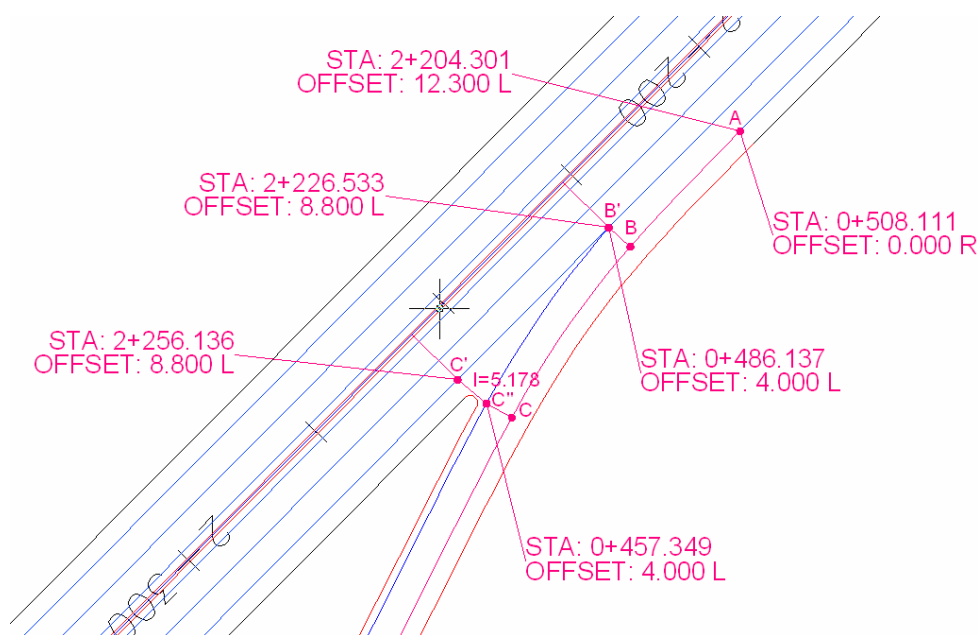


Fig.48 –Localização de pontos notáveis (em planta) relativamente aos alinhamentos em estudo

A tarefa inicial consiste em determinar as cotas dos pontos A, B' e C' a partir das cotas e inclinações transversais da Plena Via. Deve também ser determinada a “tendência” da inclinação longitudinal do bordo da Plena Via. Em zona de recta ou curva circular, o perfil do bordo será paralelo ao do eixo. Em zona de variação de sobreelevação, deverá estudada a “tendência” desta inclinação determinando a cota de um ponto do bordo situado uns metros adiante.

A maneira mais prática de organizar estes cálculos passa pela utilização de um quadro de cálculo como o que se apresenta na figura seguinte:

Tabela 4 – Cálculo de pontos da rasante do Ramo D na ligação à Plena Via

Ponto	Plena Via					Ramo D				
	PK	$z_{\text{eixo}}$	Se (%)	$Af^*$	$z_{\text{bordo}}$	Se (%)	$Af$	$z_{\text{eixo}}$	PK	
A	2+204,301	686,078	-2,50	12,000	685,778	-2,50	0,000	685,778	0+508,111	
B	2+226,533	687,190	-2,50	8,500	686,978	-2,50	4,000	686,878	0+486,137	
C	2+256,136	688,791	-2,50	8,500	688,578				0+457,349	

(\*) descontados 0,30m de separador horizontal

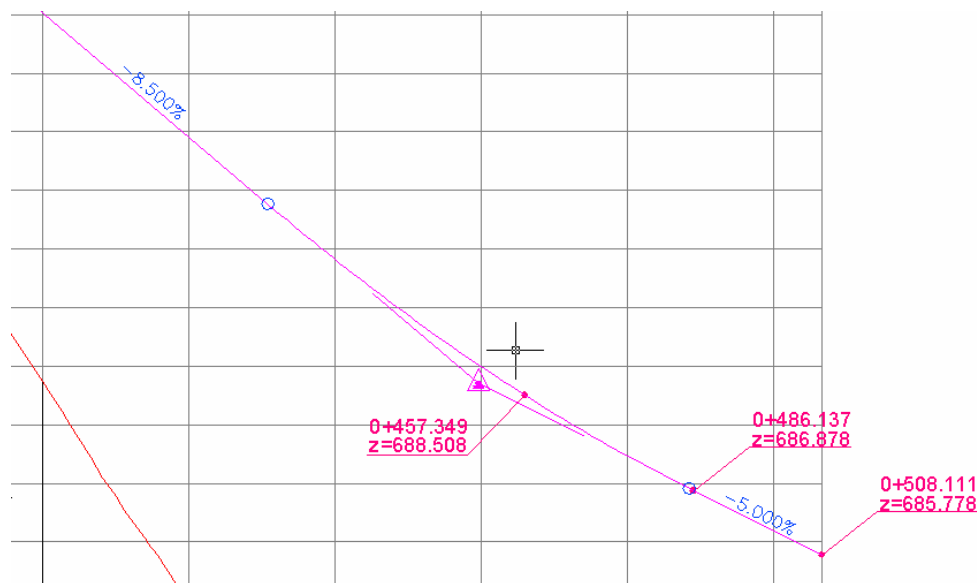


Fig.49 – Estudo da rasante do Ramo D na ligação à Plena Via

Como se verifica, o trainel que representa o bordo da Plena Via satisfaz as condições de cota dos pontos A e B e ainda a condição de continuidade de inclinação do perfil longitudinal na ligação do Ramo D à Plena Via. A solução permite ainda que a ligação do trainel final do ramo ao trainel intermédio (com 8,5% de inclinação) se faça através de uma concordância vertical de raio elevado.

Nesta fase convém verificar a compatibilidade das cotas na zona do “nariz” (pontos C’ e C’'). Impondo uma inclinação transversal no ramo de 2,5% no ponto em estudo, obtemos uma cota para o ponto C’ de:

$$z = 688.508 + .025 \times 4,0 = 688,608$$

A cota do ponto C’, determinada anteriormente, é de 688,578. Esta pequena diferença de cotas será disfarçada nos 5,178 m de distância existente entre os dois pontos, traduzindo-se numa inclinação desprezável.

A grande extensão do Ramo D obriga à criação de uma segunda via que permita manobras de ultrapassagem. Esta é criada na zona inicial do ramo constituindo, na prática, como que a sobrelargura que a curva de raio 30 m exigia. Esta segunda via é terminada antes da inserção do ramo com a Plena Via.

#### 3.9.4. OS RESTANTES RAMOS DO NÓ

Os restantes ramos do nó (designados por A, B e C) foram dimensionados e desenhados seguindo os mesmos critérios e processos, não revelando dificuldades que não tenham sido discutidas nos pontos anteriores. Nas Peças Desenhadas que se apresentam como Anexo, são apresentadas as plantas e perfis longitudinais de todos estes ramos.

### 3.10. AS VIAS DE ACELERAÇÃO E DESACELERAÇÃO

O dimensionamento das vias de aceleração e desaceleração foi realizado tendo em conta os preceitos estabelecidos nas Normas de Intersecções. O aspecto mais importante deste dimensionamento tem a ver com a extensão destas vias, função da Velocidade Base da via principal.

Para a Velocidade Base considerada de 80 km/h as Normas estabelecem as seguintes extensões:

Tabela 5 – Extensão das vias de aceleração do tipo paralelo para VB = 80 km/h

Extensão total (m)	180
Bisel (m)	50

Tabela 6 – Extensão das vias de desaceleração do tipo paralelo para VB = 80 km/h

Extensão total (m)	130
Bisel (m)	50

Tabela 7 – Extensão das vias de desaceleração do tipo directo para VB = 80 km/h

Raio da curva (m)	$\geq 15$
Bisel (m)	80

As Normas definem factores de correcção para a extensão das vias de desaceleração quando a rasante tem inclinações superiores a 3%. São omissas neste aspecto relativamente às vias de aceleração o que é muito discutível. No projecto em análise, a rasante da Plena Via tem uma inclinação de 5%, pelo que as correcções à extensão das vias de desaceleração foram consideradas.

Tabela 8 – Factores de correcção para as vias de desaceleração em função da inclinação da rasante

Inclinação da rasante	Rampa	Declive
5 a 6%	0,80	1,35

Foram consideradas vias do tipo paralelo, com 3,5 metros de largura, para todos os ramos com excepção do Ramo C em que a via de desaceleração é do tipo directo.

### 3.11. ALARGAMENTO DO PERFIL TRANSVERSAL DA PLENA VIA NA ZONA DO NÓ

O alargamento do perfil da Plena Via de 1x2 vias para 2x2 com separador central foi feito de acordo com as Normas de Intersecções.

Considerando que o separador é constituído pela guarda rígida de betão e pelas bermas interiores, a sua largura é de 2,60m, conduzindo a um valor de  $a'$  (meia largura do separador) de 1,3 m. Por simplicidade aplicaram-se os valores definidos para  $a'=1,5$  m, que se resumem na tabela seguinte

Tabela 9 – Transição do Perfil Transversal Tipo - Extensão e Raio das Curvas para VB=80 km/h

a' (m)	ET (m)	R (m)
1,5	100	1400

As segundas vias são criadas ou eliminadas através de construções semelhantes às utilizadas para os biseis das vias de desaceleração e aceleração, respectivamente.

### 3.12. OS DESENHOS FINAIS

As considerações feitas ao longo do trabalho respeitam sobretudo à definição geométrica dos eixos (em planimetria e altimetria) necessária para definição de um nó. No entanto, o aspecto que um desenho final de projecto deve ter para ser legível, exige um grande investimento de trabalho e tempo. No caso em estudo, foram desenhadas, para todas as vias, as linhas que definem em planta as faixas de rodagem, bermas, separadores, etc. Foram também definidas as linhas que estabelecem a ligação entre os bordos e as bermas de diferentes alinhamentos.

Também em relação aos perfis longitudinais houve um grande esforço para converter os desenhos que o programa gera em desenhos finais de projecto.

Na execução desta tarefa de produção de desenhos finais é essencial o domínio de ferramentas do tipo AutoCad® e não tanto de ferramentas de desenho específico de estradas. Por essa razão o tema não foi detalhado no trabalho apresentado.

# 4

## CONCLUSÃO

O objectivo do trabalho que se apresenta visa a demonstração de conhecimentos adquiridos nas disciplinas de Vias de Comunicação I, Vias de Comunicação II e nas diversas disciplinas que constituem a denominada Opção em Vias de Comunicação, ministradas no 5º ano do curso.

Para atingir este fim, foi desenvolvido um projecto de um nó, na componente de geometria do traçado. Procurou-se enumerar, passo a passo, as opções tomadas, as dificuldades surgidas e as soluções encontradas.

Um outro objectivo norteou o desenvolvimento e estrutura do trabalho. Ciente das dificuldades que encontrou quando iniciou o estudo destas matérias, nomeadamente na aprendizagem da utilização dos programas de desenho e cálculo informáticos, espera o candidato que este possa algum dia vir a ser útil a outros no desbravar do caminho.



# 5

## ANEXOS

### 5.1. LISTAGENS

Nas páginas seguintes apresenta-se um exemplo das listagens produzidas pelo Civil Design®, fundamentais para a implantação dos alinhamentos.

#### 5.1.1. CARACTERÍSTICAS DA DIRECTRIZ DO RAMO D

Project: Nó em Diamante, com rotundas desniveladas

Horizontal Alignment Station and Curve Report.

Alignment: RamoD

Desc:

Desc.	Station	Spiral/Curve Data		Northing	Easting
-----					
PI	0+000			199401.5507	93884.9501
	Length:	54.050	Course:	345	
-----					
PI	0+054.050			199436.5235	93843.7397
	Length:	137.116	Course:	41	
	Delta:	96			
-----					
		Tangent Data			
	0+000			199401.5507	93884.9501
	0+025.847			199418.2748	93865.2431
	Length:	25.847	Course:	345	
-----					
		Circular Curve Data			
PC	0+025.847			199418.2748	93865.2431
RP				199441.1483	93884.6545
PT	0+071.119			199459.1117	93860.6271
	Delta:	96	Type:	RIGHT	
	Radius:	30.000	DOC:	212	
	Length:	45.272	Tangent:	28.203	
	Mid-Ord:	8.142	External:	11.175	
	Chord:	41.097	Course:	393	
	Es:	11.175			

PI	0+180.031		199546.3412	93925.8417
	Length:	209.843	Course:	51
	Delta:	10		
Tangent Data				
	0+071.119		199459.1117	93860.6271
	0+164.843		199534.1766	93916.7472
	Length:	93.724	Course:	41
Circular Curve Data				
PC	0+164.843		199534.1766	93916.7472
RP			199414.4207	94076.9299
PT	0+195.162		199556.9929	93936.6688
	Delta:	10	Type:	RIGHT
	Radius:	200.000	DOC:	32
	Length:	30.318	Tangent:	15.188
	Mid-Ord:	0.574	External:	0.576
	Chord:	30.289	Course:	46
	Es:	0.576		
PI	0+389.816		199693.5051	94075.4303
	Length:	84.894	Course:	30
	Delta:	21		
Tangent Data				
	0+195.162		199556.9929	93936.6688
	0+373.392		199681.9869	94063.7224

### 5.1.2. COORDENADAS DE PONTOS EQUIDISTANTES DE 25 M DA DIRECTRIZ DO RAMO D

Project: Nó em Diamante, com rotundas desniveladas

Horizontal Incremental Stationing Report.

Alignment: nol\_ramoD

Desc:

Station	Northing	Easting	Tangential Direction
0+000	199401.5507	93884.9501	345
0+025	199417.7269	93865.8888	345
0+050	199439.2899	93854.7121	396
0+075	199462.2202	93862.9510	41
0+100	199482.2430	93877.9205	41
0+125	199502.2658	93892.8900	41
0+150	199522.2887	93907.8595	41
0+175	199542.1536	93923.0329	44
0+200	199560.3861	93940.1180	51
0+225	199577.9188	93957.9395	51
0+250	199595.4514	93975.7611	51
0+275	199612.9840	93993.5826	51
0+300	199630.5167	94011.4041	51
0+325	199648.0493	94029.2256	51
0+350	199665.5820	94047.0471	51
0+375	199683.1238	94064.8596	49
0+400	199702.9364	94079.9992	34
0+425	199725.1653	94091.4330	30
0+450	199747.4581	94102.7478	31
0+475	199768.8369	94115.6593	40
0+500	199787.6704	94132.0670	49



### 5.1.3. CARACTERÍSTICAS DA RASANTE DO RAMO D

Project: Nó em Diamante, com rotundas desniveladas

Vertical alignment station and curve report.

Alignment: RamoD		Vertical Alignment: FGC		Surface: surfacel	
Station	Elevation	Curve Length	Grade		
0+000	725.415				
			-2.500		
0+025	724.790	50.000			
			-8.500		
-----					
Vertical Curve Information: Crest curve					
PVC Station: 0+000		Elevation:	725.415		
PVI Station: 0+025		Elevation:	724.790		
PVT Station: 0+050		Elevation:	722.665		
Grade in (%):		-2.500	Grade out (%):	-8.500	
Change (%):		-6.000	K-Value:	8.333 ***	
Curve Length:		50.000	Min. Length:	60.000	
Passing SD:		103.814	Stopping SD:	58.687	
-----					
0+449.468	688.710	72.000			
			-5.000		
-----					
Vertical Curve Information: Sag curve					
PVC Station: 0+413.468		Elevation:	691.770		
PVI Station: 0+449.468		Elevation:	688.710		
PVT Station: 0+485.468		Elevation:	686.910		
Grade in (%):		-8.500	Grade out (%):	-5.000	
Change (%):		3.500	K-Value:	20.571	
Curve Length:		72.000	Min. Length:	42.000	

### 5.1.4. COTAS DE PONTOS EQUIDISTANTES DE 25 M DA RASANTE DO RAMO D

Project: Nó em Diamante, com rotundas desniveladas

Vertical alignment station increment report.

Alignment: RamoD		Vertical Alignment: FGC		Surface: surfacel	
Station	EGC	EGL	EGR	FGC	
0+000	720.000				725.415
0+025	718.163				724.415
0+050	716.063				722.665
0+075	714.052				720.540
0+100	711.953				718.415
0+125	708.000				716.290
0+150	708.663				714.165
0+175	707.897				712.040
0+200	707.702				709.915
0+225	704.109				707.790
0+250	704.043				705.665
0+275	704.362				703.540
0+300	702.073				701.415
0+325	698.000				699.290
0+350	692.761				697.165
0+375	688.723				695.040
0+400	684.931				692.915

0+425	681.866	690.822
0+450	680.099	688.989
0+475	681.581	687.460
0+500	683.056	686.184

## **5.2. PEÇAS DESENHADAS**

DESENHO 1 – PLENA VIA – TRAÇADO – DIRECTRIZ E RASANTE – KM 1+600 A KM 2+600

DESENHO 2 – PLENA VIA – TRAÇADO – DIRECTRIZ E RASANTE – KM 2+600 A KM 3+600

DESENHO 3 – PLENA VIA – TRAÇADO – PERFIS TRANSVERSAIS TIPO – FOLHA 1

DESENHO 4 – PLENA VIA – TRAÇADO – PERFIS TRANSVERSAIS TIPO – FOLHA 1

DESENHO 5 – NÓ DE LIGAÇÃO E RESTABELECIMENTOS – TRAÇADO – PERFIS TRANSVERSAIS TIPO

DESENHO 6 – PLENA VIA – TRAÇADO – PLANTA E PERFIL LONGITUDINAL – KM 1+600 A KM 2+600

DESENHO 7 – PLENA VIA – TRAÇADO – PLANTA E PERFIL LONGITUDINAL – KM 2+600 A KM 3+600

DESENHO 8 – NÓ DE LIGAÇÃO – TRAÇADO – PLANTA GERAL – FOLHA 1

DESENHO 9 – NÓ DE LIGAÇÃO – TRAÇADO – PLANTA GERAL – FOLHA 2

DESENHO 10 – NÓ DE LIGAÇÃO – TRAÇADO – PLANTA E PERFIL LONGITUDINAL – RAMO A E RAMO B

DESENHO 11 – NÓ DE LIGAÇÃO – TRAÇADO – PLANTA E PERFIL LONGITUDINAL – RAMO C E RAMO D

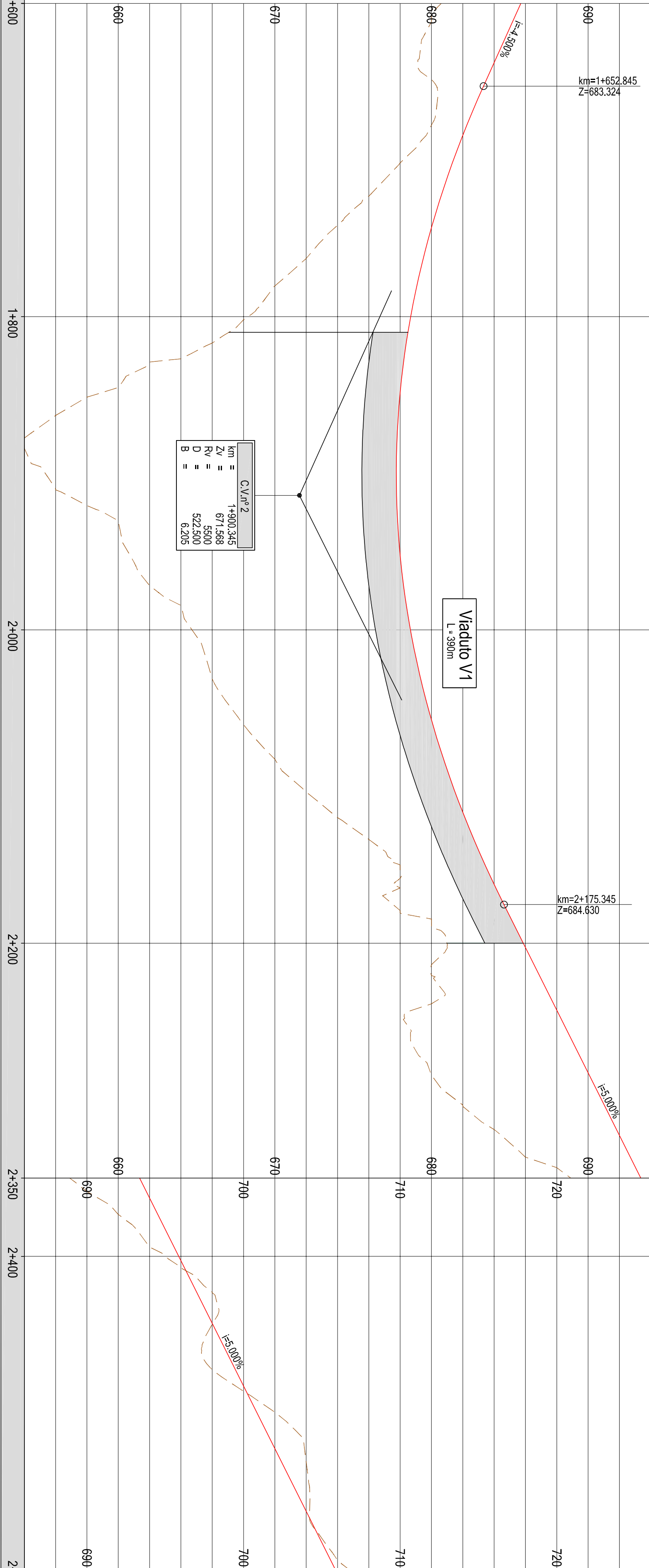
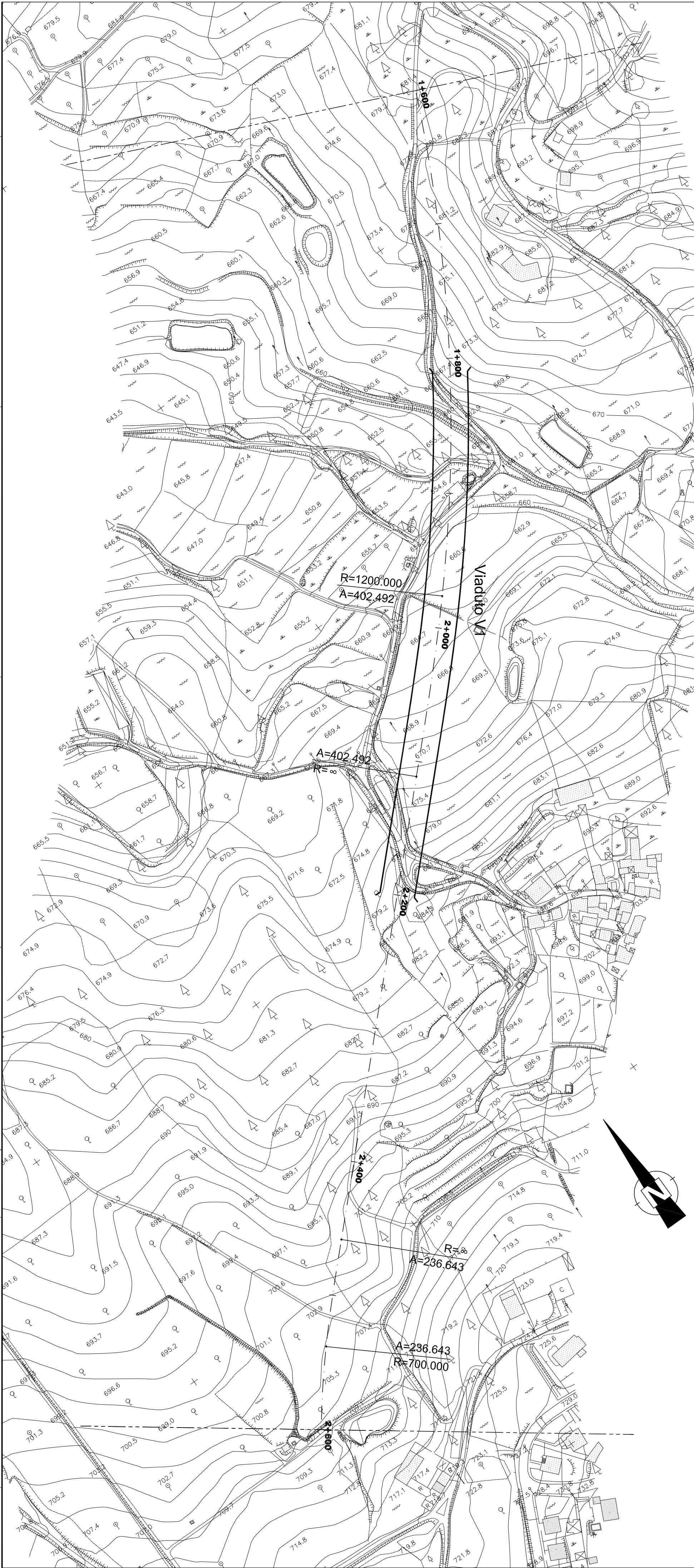
DESENHO 12 – NÓ DE LIGAÇÃO – TRAÇADO – PLANTA E PERFIL LONGITUDINAL – RESTABELECIMENTOS 1 E 2, ROTUNDAS 1 E 2

## **BIBLIOGRAFIA**

- [1] França, Adalberto Quelhas da Silva, *Sebenta de Vias de Comunicação I*. FEUP, 1995
- [2] França, Adalberto Quelhas da Silva, *Sebenta de Vias de Comunicação II*. FEUP, 1995
- [3] *Normas de Traçado*, Junta Autónoma de Estradas, 1992
- [4] *Normas de Nós de Ligação*, Junta Autónoma de Estradas, 1993
- [5] *Normas de Intersecções*, Junta Autónoma de Estradas, 1993
- [6] França, Adalberto Quelhas da Silva, *Tópicos e Resumos de Complementos de Estradas e Aeródromos*
- [7] Tumkus ,Eduardo, *Autodesk LAND Development Suite 3: Estudo Prático*, Érica, São Paulo, 2003



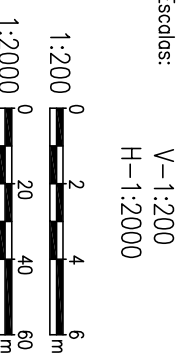




QUILOMETRAGEM		1+600	1+800	2+000	2+200	2+350	2+400	2+600
COTAS DA RASANTE		685.702	683.452	678.271	685.863	693.363	694.613	705.863
COTAS DO TERRENO		680.62	683.14	664.38	680.98	688.90	698.34	704.64
ELEMENTOS DA RASANTE		i=-4.500% D=108.595						
SOBRELEVACÃO (%)		R=5500 D=522.500						
PONTOS NOTÁVEIS		1+976.172						
DIAGRAMA DE CURVAS		R=1200.000 D=402.492						

EM CÓPIAS DESTES DESENHOS COM FORMATO DIFERENTE DO A1 ATENDER ÀS ESCALAS GRÁFICAS.

NÓ EM DIAMANTE COM ROTUNDAS  
GEOMETRIA DO TRACADO

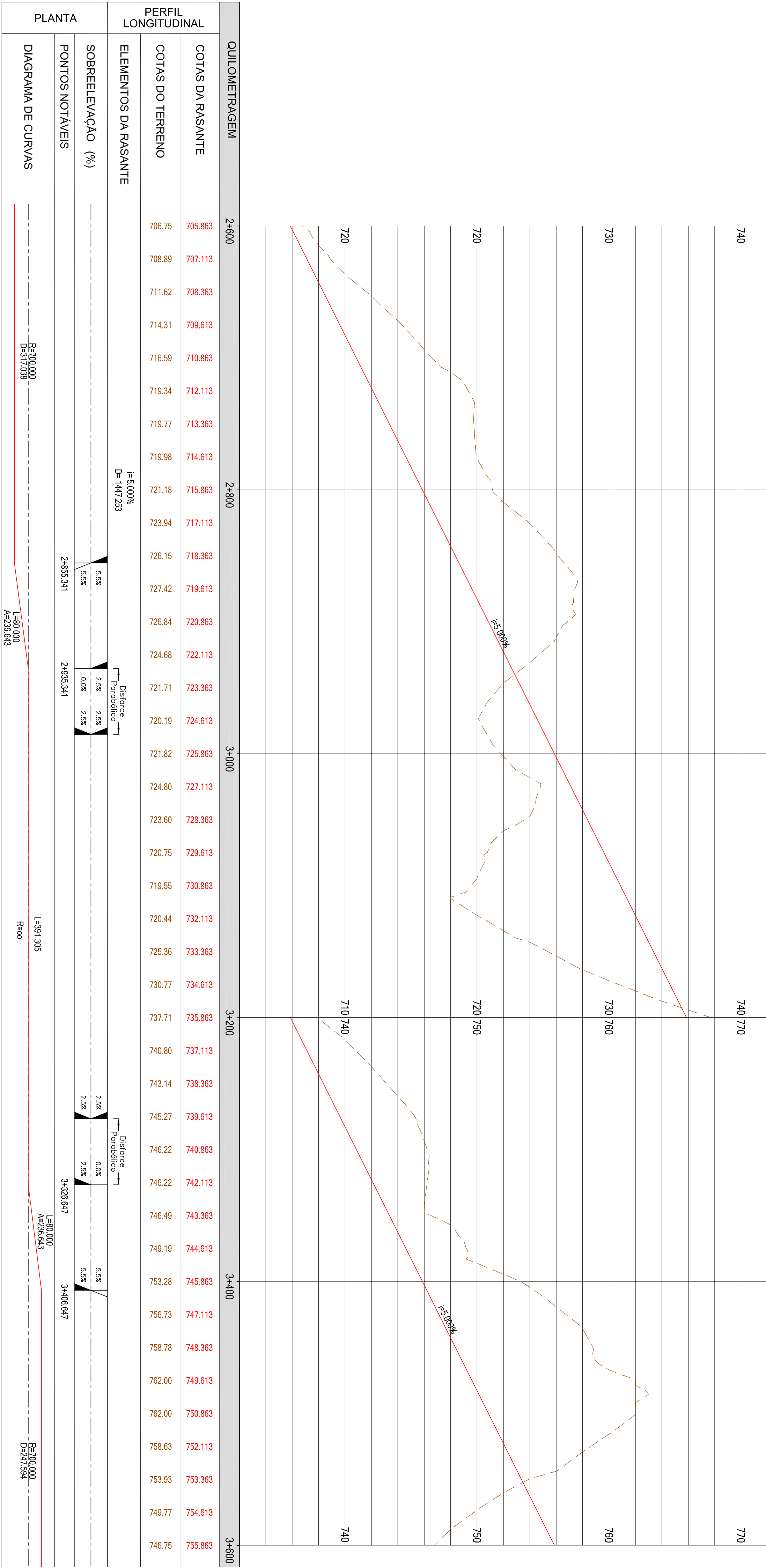
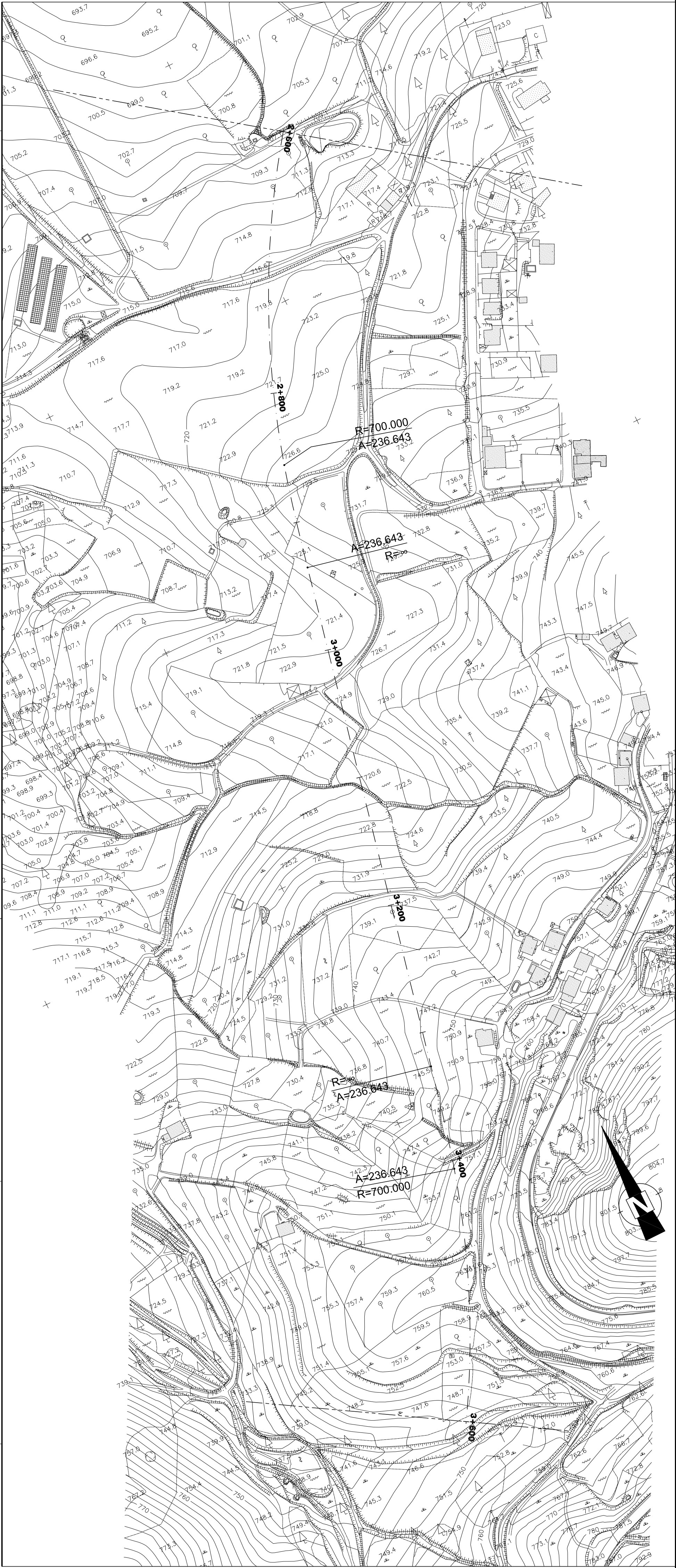


Escalas:	Projeto:	Substitui:
V-1:200	H-1:2000	
1:200	Verificou:	Substituiu por:
1:2000	Aprovou:	

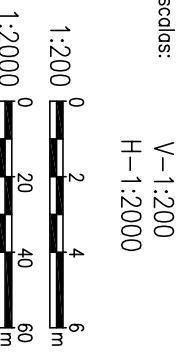
PROJECTO DE EXECUÇÃO  
PLENA VIA  
TRACADO  
DIRECTRIZ E RASANTE  
Km 1+600 a Km 2+600



EM CÓPIAS DESTES DESENHOS COM FORMATO DIFERENTE DO A1 ATENDER ÀS ESCALAS GRÁFICAS.



NÓ EM DIAMANTE COM ROTUNDAS  
GEOMETRIA DO TRACADO



Projeto:   
Desenho:   
Verificar:   
Aprovar:

Substituir:   
Substituido por:

Designação:   
PROJETO DE EXECUÇÃO   
PLENA VIA   
TRACADO   
DIRECTRIZ E RASANTE   
Km 2+600 a Km 3+600

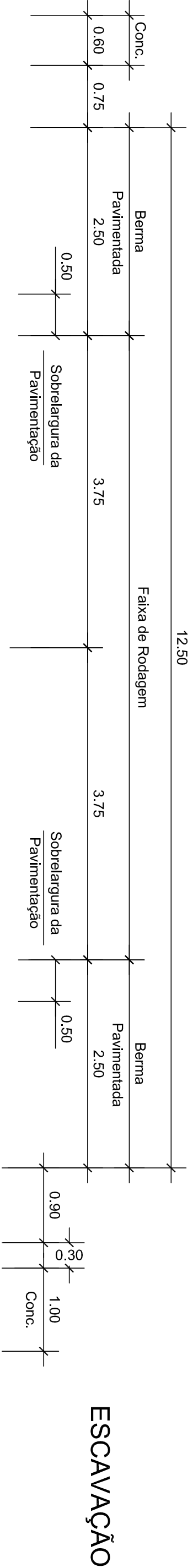
Desenho nº   
DB 01   
Data: JUN/2008   
Folha: 2/2   
Nº Ordem: 02



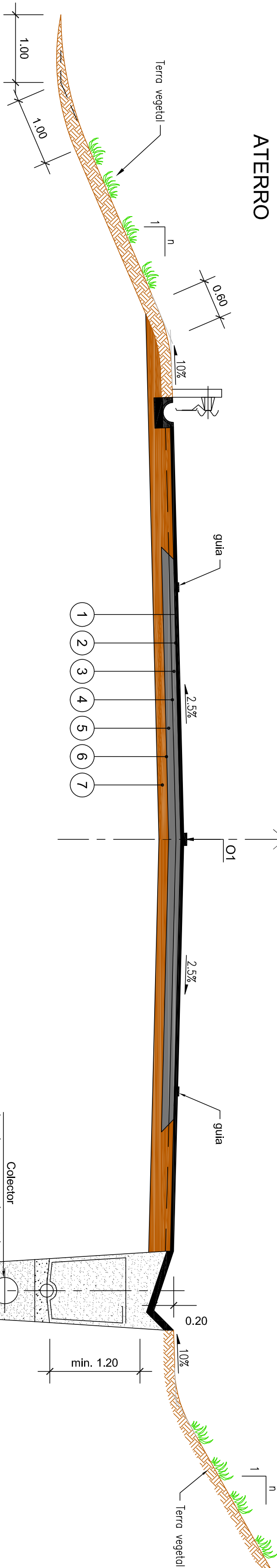
PERFIL TRANSVERSAL TIPO - SECÇÃO CORRENTE

1x1 VIAS

EM RECTA OU CURVA (R≥ 2500m)

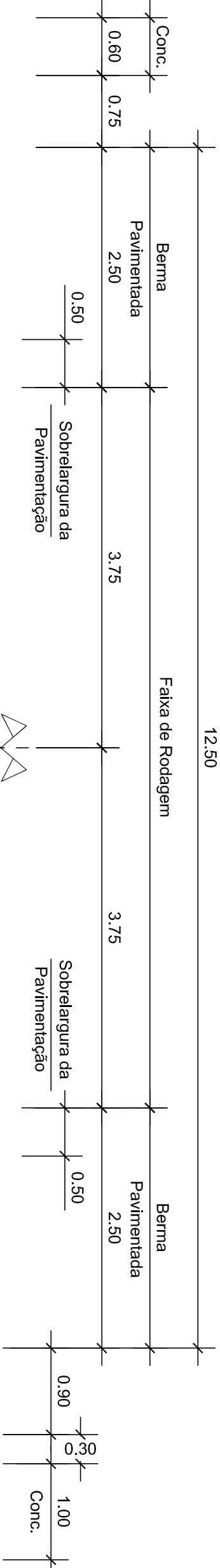


ESCAVAÇÃO

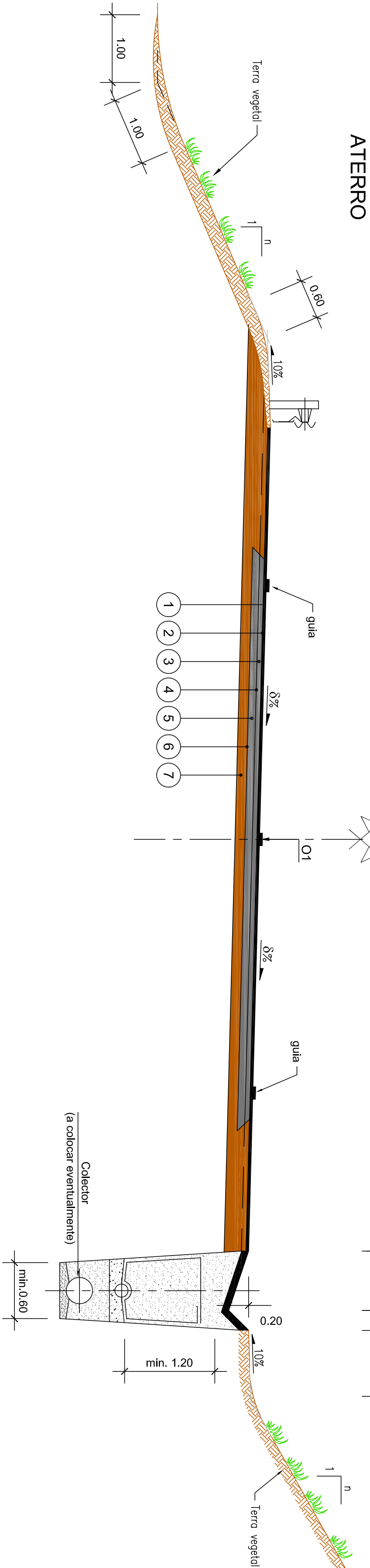


ATERRO

EM CURVA (R< 2500m)



ESCAVAÇÃO



ATERRO

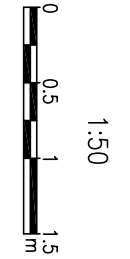
- NOTAS:
- 1 - O1 - CONSTITUI O PONTO DO PERFIL LONGITUDINAL (RASANTE) E IGUALMENTE O PONTO DE ROTAÇÃO DO PERFIL TRANSVERSAL. NO CASO DE VARIAÇÃO DA SOBRELEVACÃO.
  - 2 - PARA ALTURAS DE ATERRO SUPERIORES A 3m, DEVE SER COLOCADA GUARDA DE SEGURANÇA.
  - 3 - SL - SOBRELARGURA DE ACORDO COM AS NORMAS DO EP.
  - 4 - AS BERMAS DIREITAS TERÃO UM PAVIMENTO IDENTICO AO DA FAIXA DE RODAGEM QUANDO NO INTRADORSO DE CURVAS COM R < 100m.

QUADRO DE PAVIMENTOS		
CAMADA	IP2	NOS # EN
1 - CAMADA DE DESGASTE EM BETÃO BETUMINOSO	0,06	0,06
2 - BETÃO BETUMINOSO EM EMULSÃO	x	x
3 - CAMADA DE REGULARIZAÇÃO EM MACADAME BETUMINOSO (rel. pen. 50/70)	0,07	0,11
4 - BETUMINOSA MODIFICADA	x	-
5 - CAMADA DE BASE EM MACADAME BETUMINOSO (rel. pen. 50/70)	0,09	-
6 - REGA DE IMPREGNAÇÃO	x	x
7 - CAMADA DE BASE EM AGREGADO BRITADO DE GRANULOMETRIA EXTENSA	0,20	0,20

EM CÓPIAS DESTES DESENHOS COM FORMATO DIFERENTE DO A1 ATENDER ÀS ESCALAS GRÁFICAS.

NÓ EM DIAMANTE COM ROTUNDAS

GEOMETRIA DO TRAÇADO



Projector:	Substituir:
Desenhador:	
Verificador:	
Aprovar:	

PROJECTO DE EXECUÇÃO

PLENA VIA

TRAÇADO

PERFIS TRANSVERSAIS TIPO

Desenho nº

GER 01

Data: JUN/2008

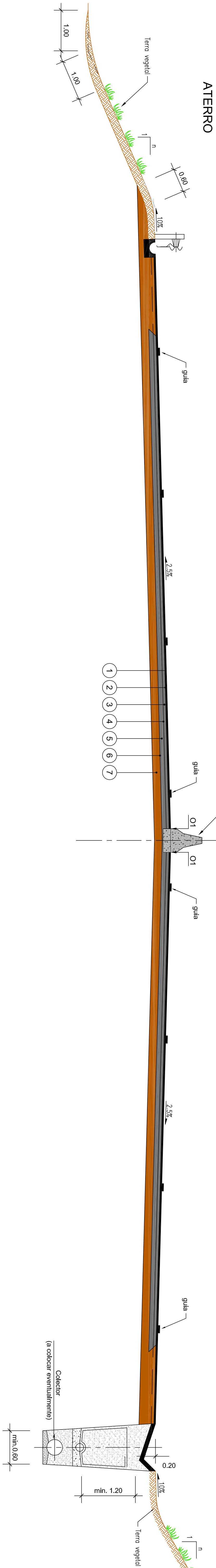
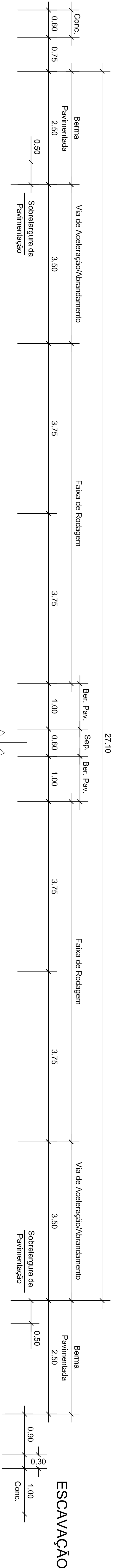
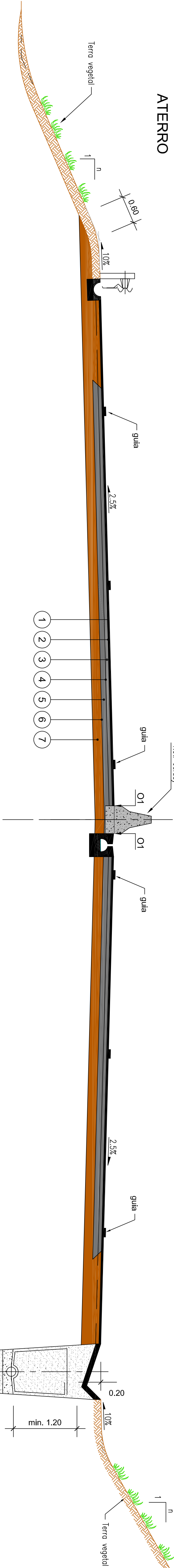
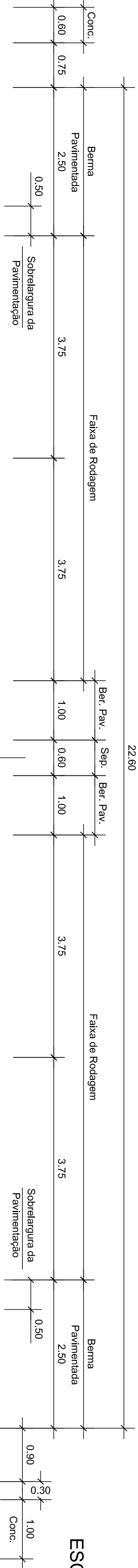
Folha: 1/3

Nº Ordem: 03

NOTAS:

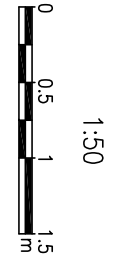
- 1 - 01 - CONSTITUI O PONTO DO PERFIL LONGITUDINAL (RASANTE) E É IGUALMENTE O PONTO DE ROTAÇÃO DO PERFIL TRANSVERSAL. NO CASO DE VARIAÇÃO DA SOBRELEVAÇÃO.
- 2 - PARA ALTURAS DE ATERRO SUPERIORES A 3m, DEVE SER COLOCADA GUARDA DE SEGURANÇA.
- 3 - SL - SOBRELEVAÇÃO DE ACORDO COM AS NORMAS DO EP.
- 4 - AS BERMAS DIREITAS TERÃO UM PAVIMENTO IDENTICO AO DA FAIXA DE RODAGEM QUANDO NO INTRADORSO DE CURVAS COM R < 100m.

QUADRO DE PAVIMENTOS			
CAMADA		IP2	NºS a EN
1	CAMADA DE DESGASTE EM BETÃO BETUMINOSO	0,05	0,05
2	REGA DE COLAGEM COM EMULSÃO	x	x
3	CAMADA DE REGULARIZAÇÃO EM MACADAME BETUMINOSO (Int. per. 50/70)	0,07	0,11
4	REGA DE COLAGEM COM EMULSÃO	x	-
5	CAMADA DE BASE EM MACADAME BETUMINOSO (Int. per. 50/70)	0,09	-
6	REGA DE IMPREGNAÇÃO	x	x
7	CAMADA DE BASE EM AGREGADO BRITADO DE GRANULOMETRIA EXTENSA	0,20	0,20



EM CÓPIAS DESTES DESENHOS COM FORMATO DIFERENTE DO A1 ATENDER ÀS ESCALAS GRÁFICAS.

NÓ EM DIAMANTE COM ROTUNDAS  
GEOMETRIA DO TRACADO

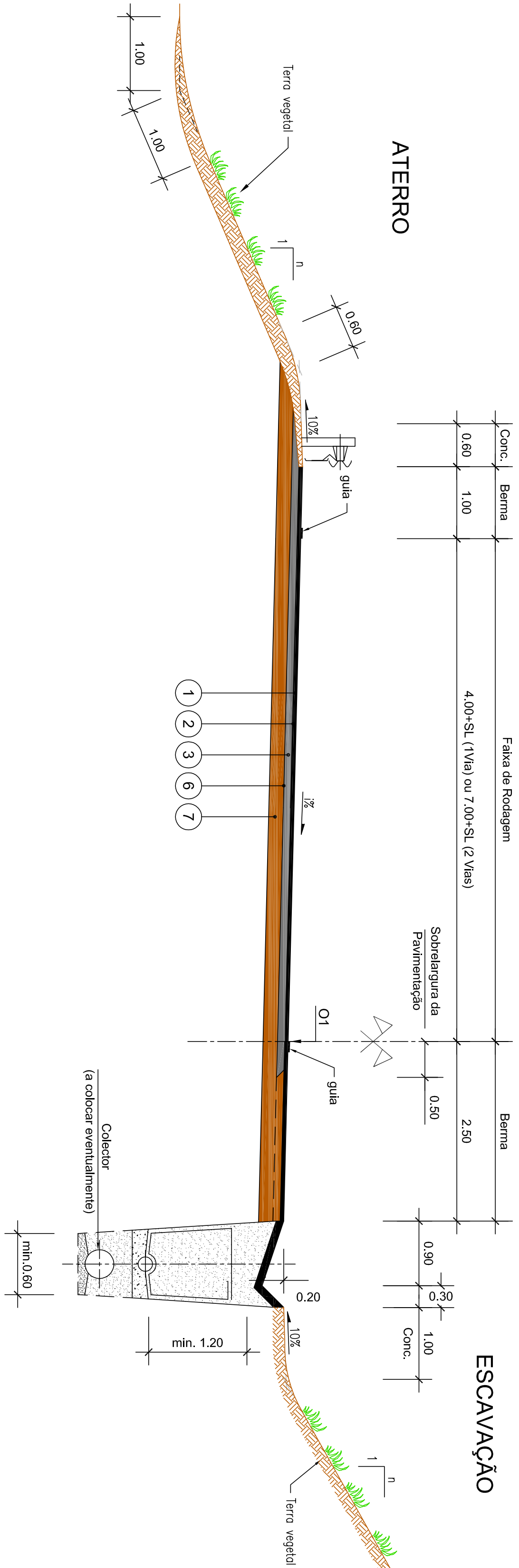


PROJECTO DE EXECUÇÃO  
PLENA VIA  
TRACADO  
PERFIS TRANSVERSAIS TIPO

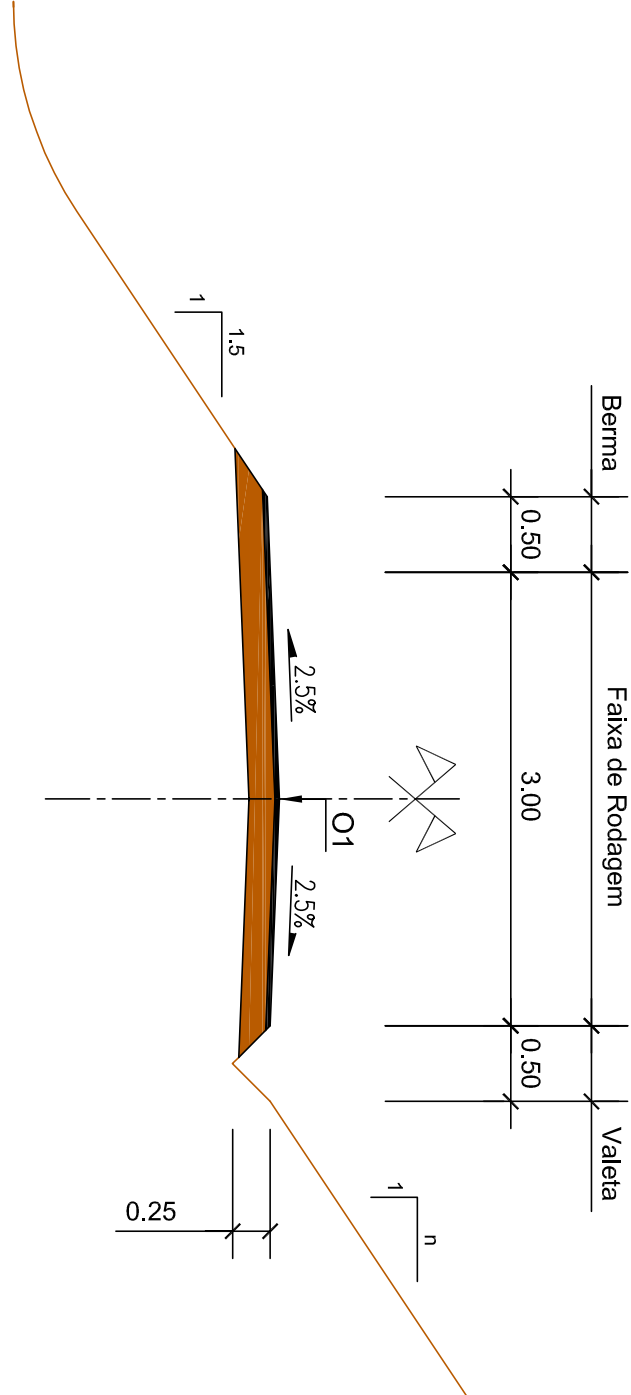
GER 01  
Folha: 2/3  
Nº Ordem: 04



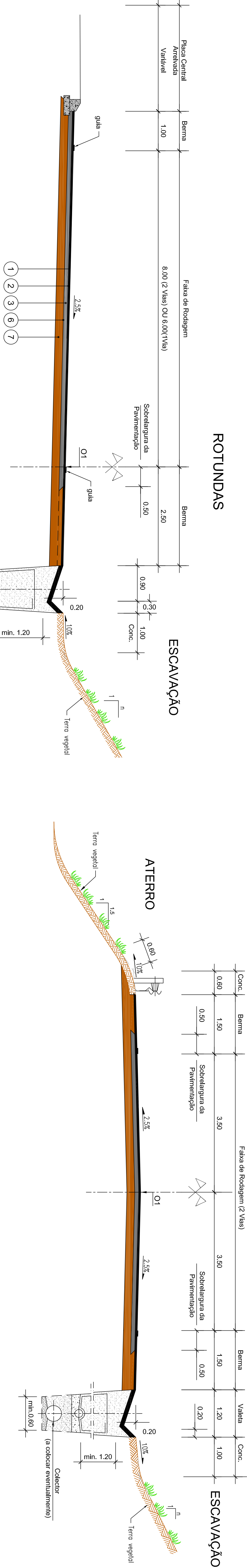
NÓS DE LIGAÇÃO - PERFIS TRANSVERSAIS TIPO  
DOS RAMOS UNIDIRECCIONAIS (EM CURVA À DIREITA)



CAMINHOS PARALELOS

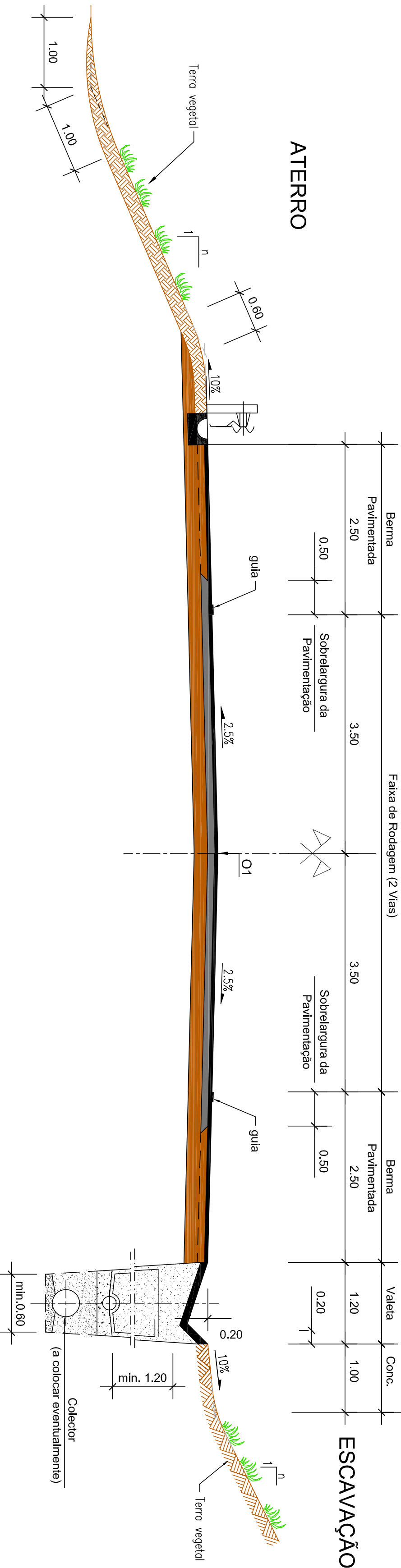


RESTABELECIMENTOS - PERFIS TRANSVERSAIS TIPO  
ESTRADAS NACIONAIS  
REST. 2 E LIGAÇÕES 1A, 1B, 1C, 1D

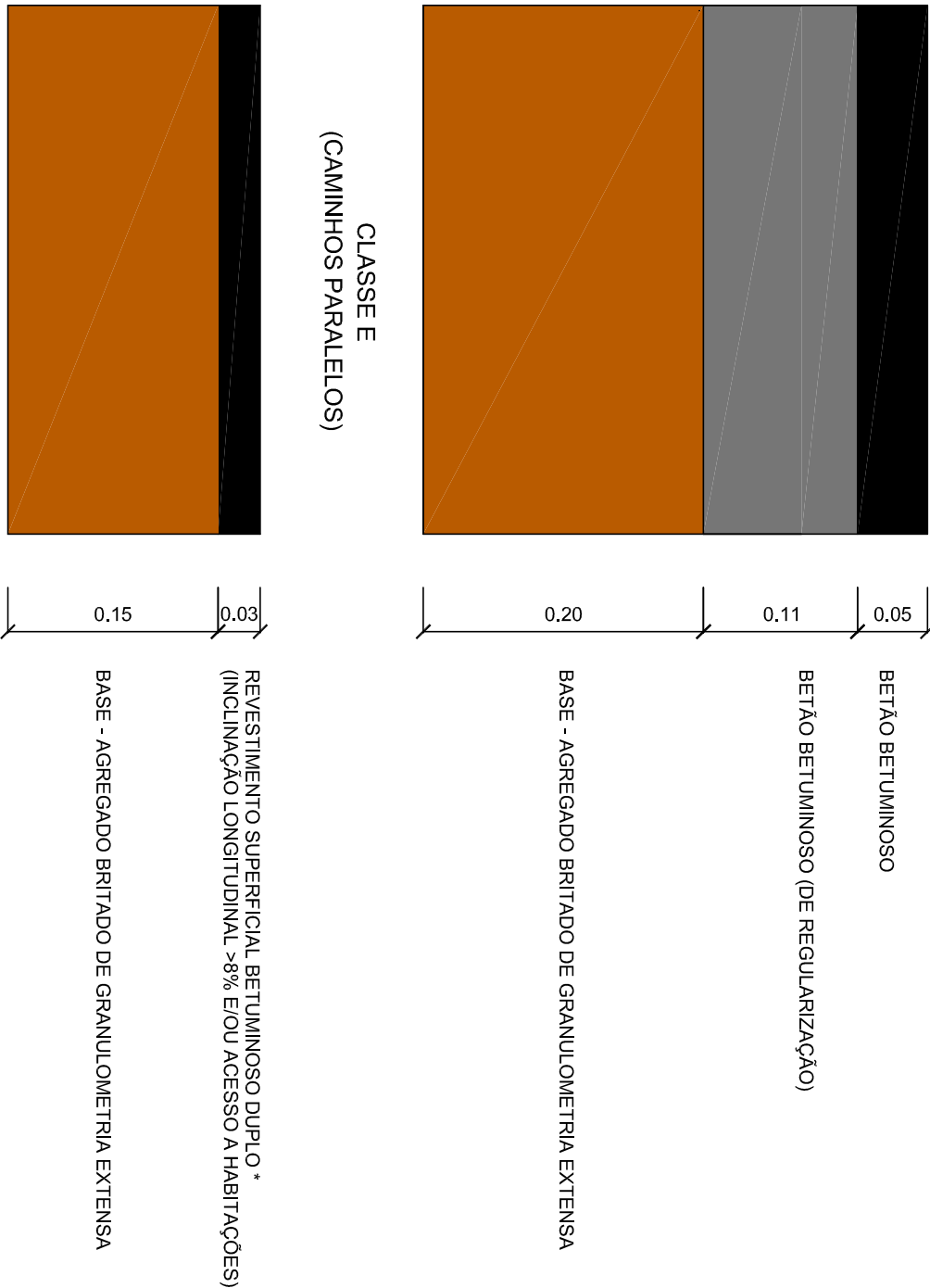


QUADRO DE PAVIMENTOS		
CAMADA	IP2	NOS e EN
1 CAMADA DE DESGASTE EM BETÃO BETUMINOSO	0,05	0,05
2 BETÃO BETUMINOSO OU EMULSÃO	x	x
3 CAMADA DE REGULARIZAÇÃO EM MACADAMÉ BETUMINOSO (rel. pen. 50/70)	0,07	0,11
4 BETÃO BETUMINOSO	x	-
5 CAMADA DE BASE EM MACADAMÉ BETUMINOSO (rel. pen. 50/70)	0,09	-
6 REGA DE IMPREGNAÇÃO	x	x
7 CAMADA DE BASE EM AGREGADO BRITADO DE GRANULOMETRIA EXTENSA	0,20	0,20

RESTABELECIMENTO 1



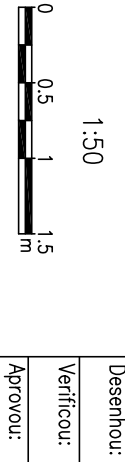
PAVIMENTOS  
CLASSE A  
(ESTRADAS NACIONAIS)



NOTAS:

- 1 - O1 - CONSTITUI O PONTO DO PERFIL LONGITUDINAL (RASANTE) E É IGUALMENTE O PONTO DE ROTACÃO DO PERFIL TRANSVERSAL, NO CASO DE VARIAÇÃO DA SOBRELANÇAMENTO.
  - 2 - PARA ALTURAS DE ATERRO SUPERIORES A 3m, DEVE SER COLOCADA GUARDA DE SEGURANÇA.
  - 3 - SL - SOBRELARGURA DE ACORRIMENTO COM AS NORMAS DO EP.
  - 4 - AS BERMAS DIREITAS TERÃO UM PAVIMENTO IDENTICO AO DA FAIXA DE RODAGEM QUANDO NO INTRACURSO DE CURVAS COM R < 100m.
- \* - NOS CAMINHOS PARALELOS PRECISE O REVESTIMENTO SUPERFICIAL SIMILAR DUPO SEMPRE QUE A INCLINAÇÃO SEJA SUPERIOR A 10% E GARANTA ACESSO A HABITAÇÕES.

NÓ EM DIAMANTE COM ROTUNDAS  
GEOMETRIA DO TRACADO



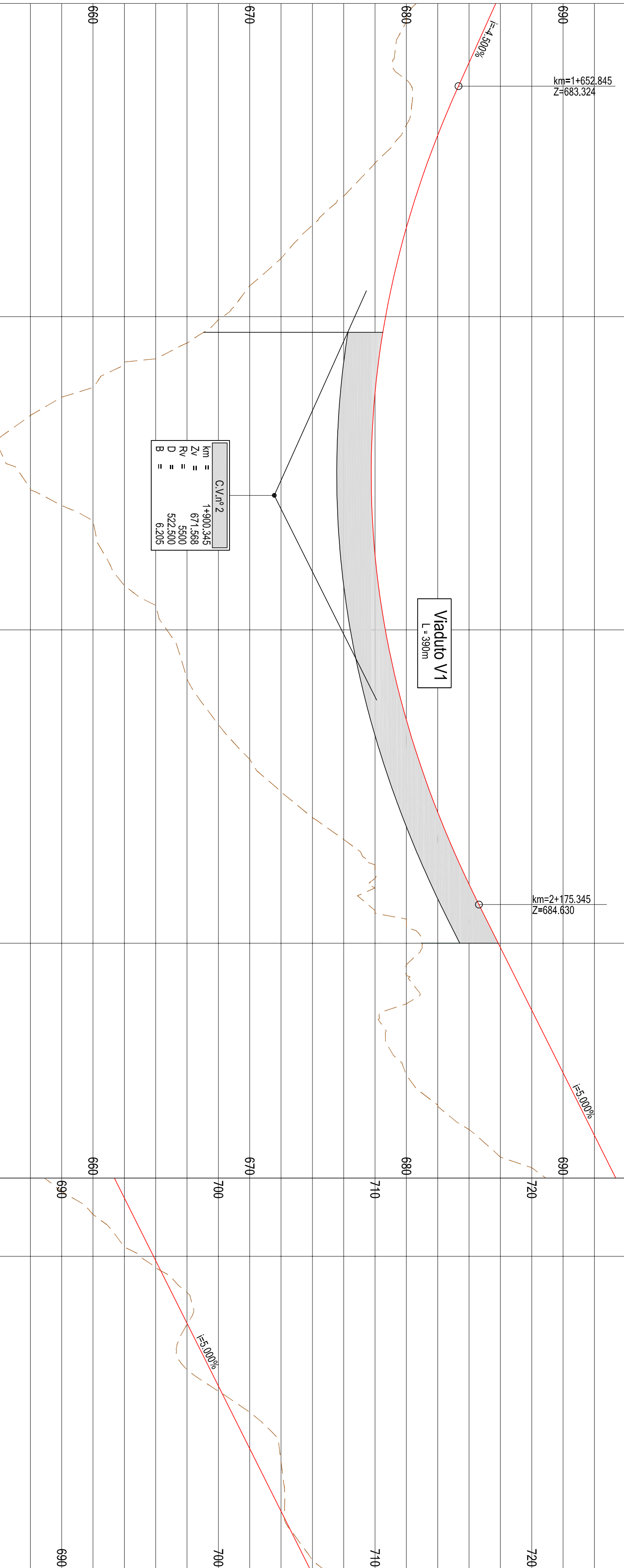
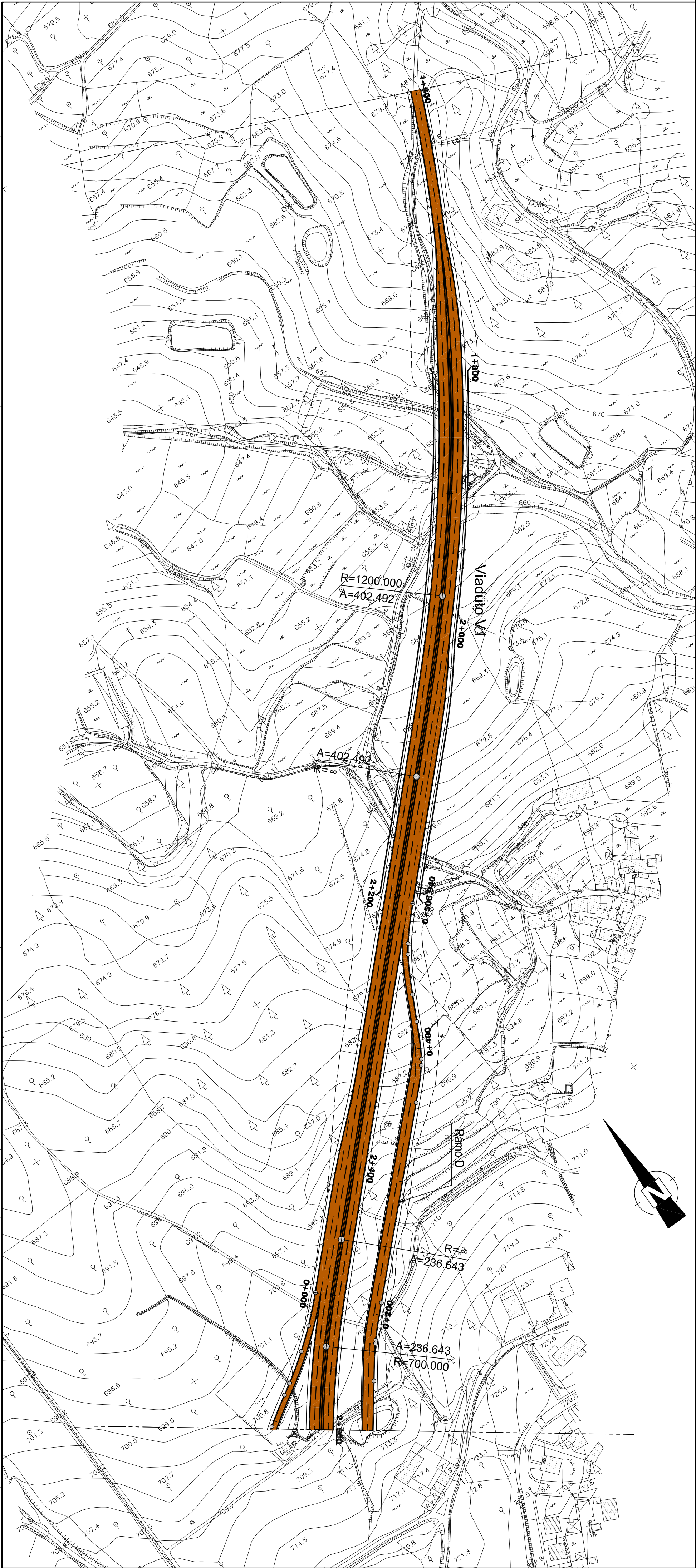
Projektor:  
Desenhador:  
Verificador:  
Aprovar:

Substituir:  
Substituir por:

PROJETO DE EXECUÇÃO  
NÓ DE LIGAÇÃO E RESTABELECIMENTOS  
TRACADO  
PERFIS TRANSVERSAIS TIPO

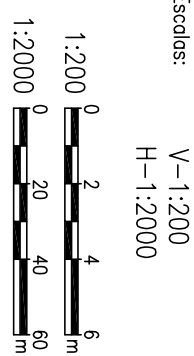
Desenho n.º  
GER 01  
Data:  
Folha:  
N.º Ordem:  
JUN/2008  
1/3  
05





QUILOMETRAGEM		1+600	1+800	2+000	2+200	2+350	2+400	2+600
COTAS DA RASANTE		685.702	684.577	683.372	681.404	680.550	679.810	705.863
COTAS DO TERRENO		680.62	679.35	680.12	678.19	675.66	673.14	704.64
ELEMENTOS DA RASANTE		i=-4.500% D=108.595						
SOBRELEVACÃO (%)		R=5500 D=522.500						
PONTOS NOTÁVEIS		1+976.172						
DIAGRAMA DE CURVAS		R=1200.000 D=402.492						

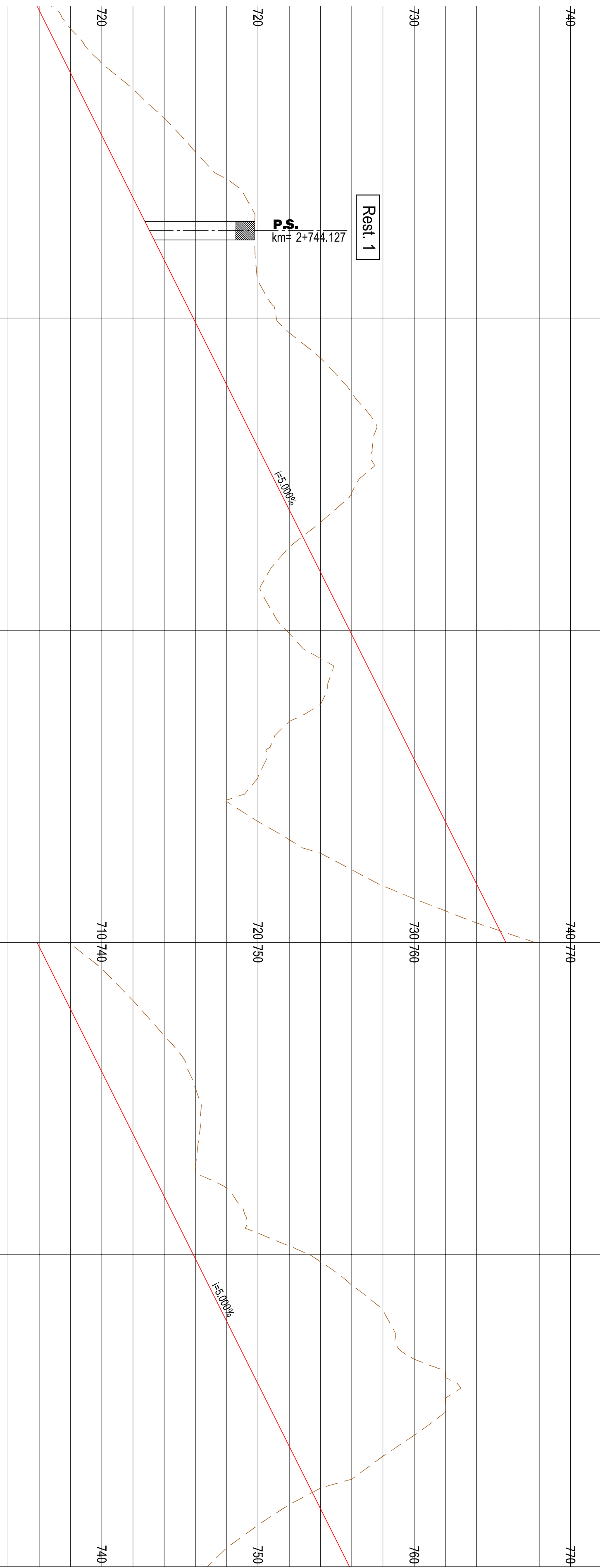
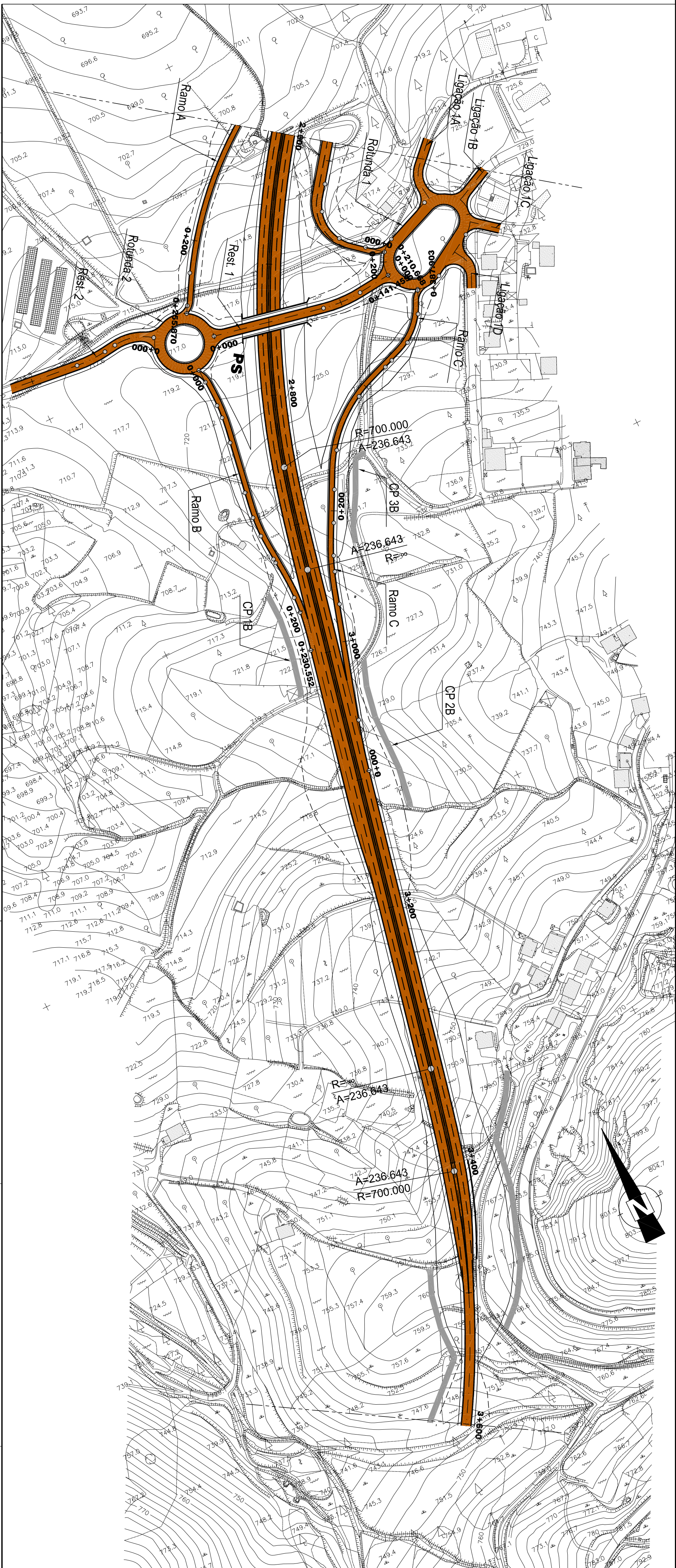
NÓ EM DIAMANTE COM ROTUNDAS  
GEOMETRIA DO TRACADO



Escalas:	Projeto:	Substitui:
V-1:200	Desenho:	
H-1:2000	Verificou:	
1:2000	Aprovou:	

PROJECTO DE EXECUÇÃO  
PLENA VIA  
TRACADO  
Km 1+600 a Km 2+600





PLANTA	PERFIL LONGITUDINAL																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
	QUILOMETRAGEM				2+600				3+000				3+200				3+400				3+600																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
COTAS DA RASANTE																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								

PLANTA	
PONTOS NOTÁVEIS	<div>2+855,341</div> <div>2+935,341</div> <div>3+265,647</div> <div>3+405,647</div>
DIAGRAMA DE CURVAS	<div> <math>R=700,000</math>  <math>D=37,038</math>  <math>L=80,000</math>  <math>A=236,643</math> </div> <div> <math>L=301,305</math>  <math>R=0</math> </div> <div> <math>L=80,000</math>  <math>A=236,643</math>  <math>R=700,000</math>  <math>D=247,594</math> </div>


## NÓ EM DIAMANTE COM ROTUNDAS

### GEOMETRIA DO TRAÇADO

scals:

V-1:200

H-1:2000



Projectou:	Substituiu:
Desenhou:	
Verificou:	
Aprovou:	
	Substituido por:

Designação: PROJECTO DE EXECUÇÃO  
PLENA VIA  
TRAÇADO  
PLANTA E PERFIL LONGITUDINAL  
Km 2+600 a Km 3+600

TRC 01		
Data:	Folho:	Nº Ordem:
JUN/2008	2/2	07



EM CÓPIAS DESTES DESENHOS COM FORMATO DIFERENTE DO A1 ATENDER ÀS ESCALAS GRÁFICAS.

NÓ EM DIAMANTE COM ROTUNDAS  
GEOMETRIA DO TRACADO

Escalas:  
1:1.000  
0 10 20 30 m

Projeto:  
Desenho:  
Verificação:  
Aprovação:

Substituir:  
Sustentado por:

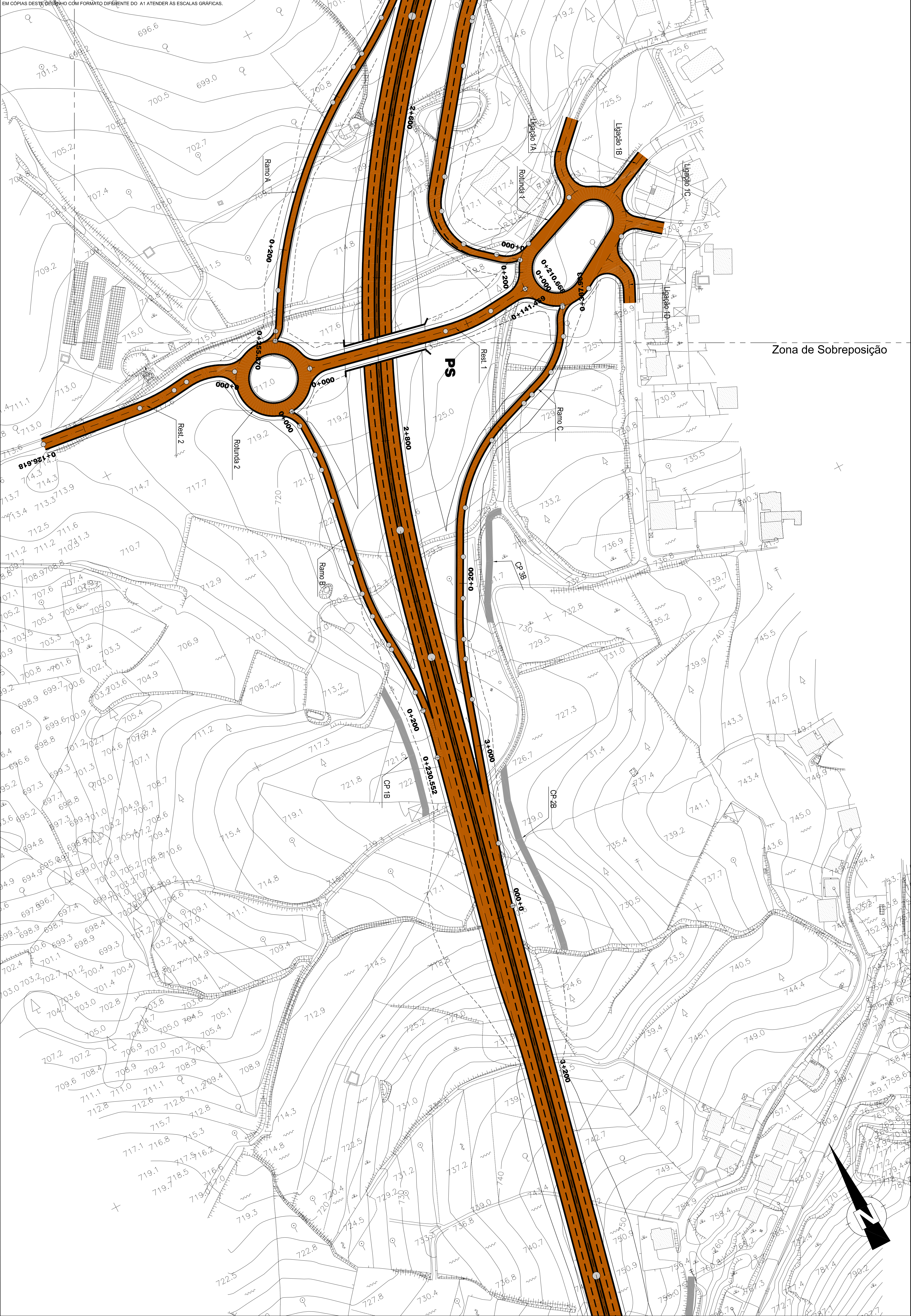
Designação:  
PROJECTO DE EXECUÇÃO  
NÓ DE LIGAÇÃO  
TRACADO  
PLANTA GERAL

Desenho nº:  
Data:  
Folha:  
Nº Ordem:  
TRC 02  
JUN/2008  
1/2  
08



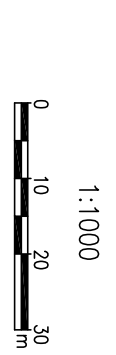


EM CÓPIAS DESTA PLANALTA COM FORMATO DIFERENTE DO A1 ATENDER ÀS ESCALAS GRÁFICAS.



Zona de Sobreposição

NÓ EM DIAMANTE COM ROTUNDAS  
GEOMETRIA DO TRACADO



Projeto: 1:1000

Verificação: 1:1000

Aprovação: 1:1000

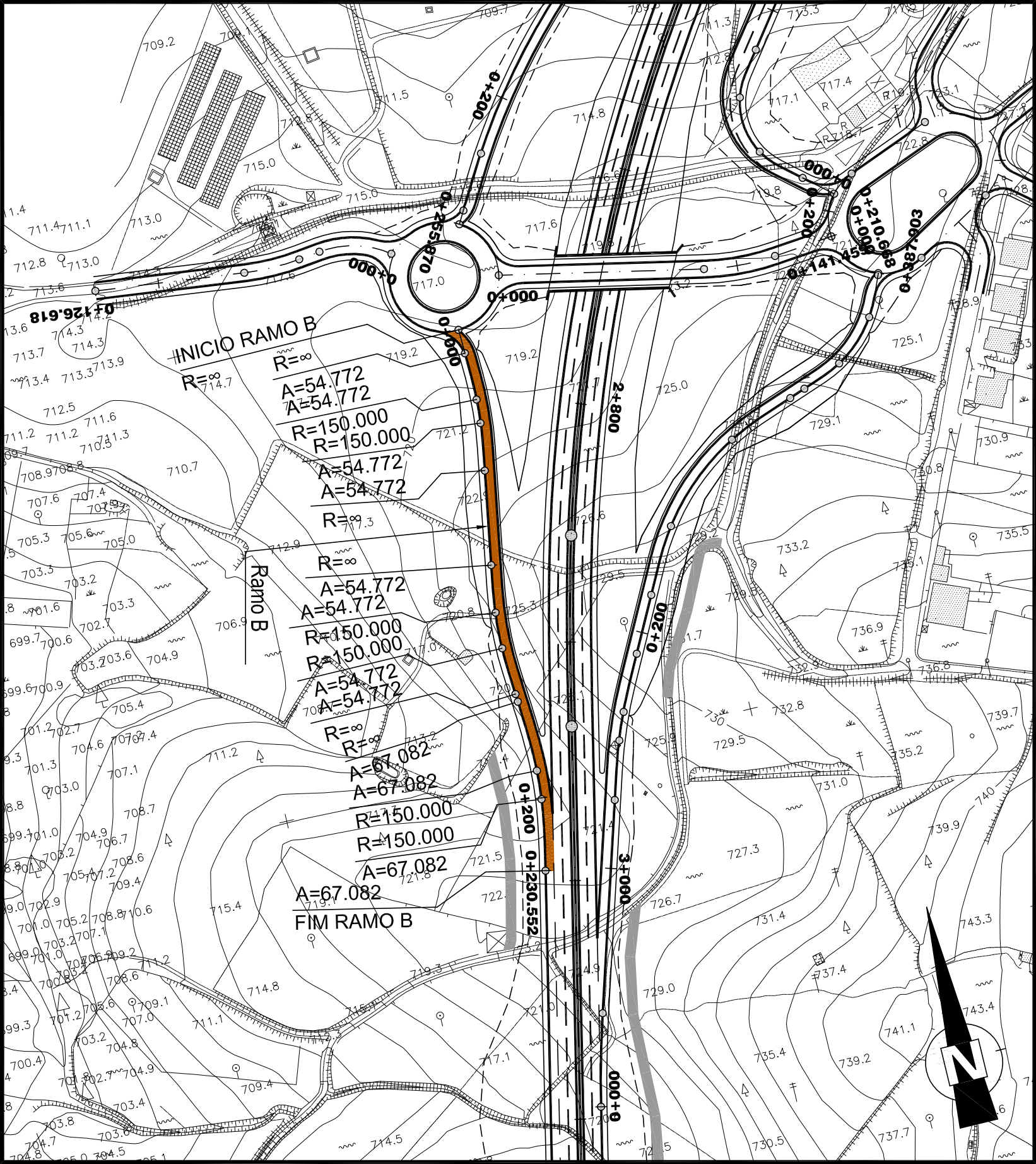
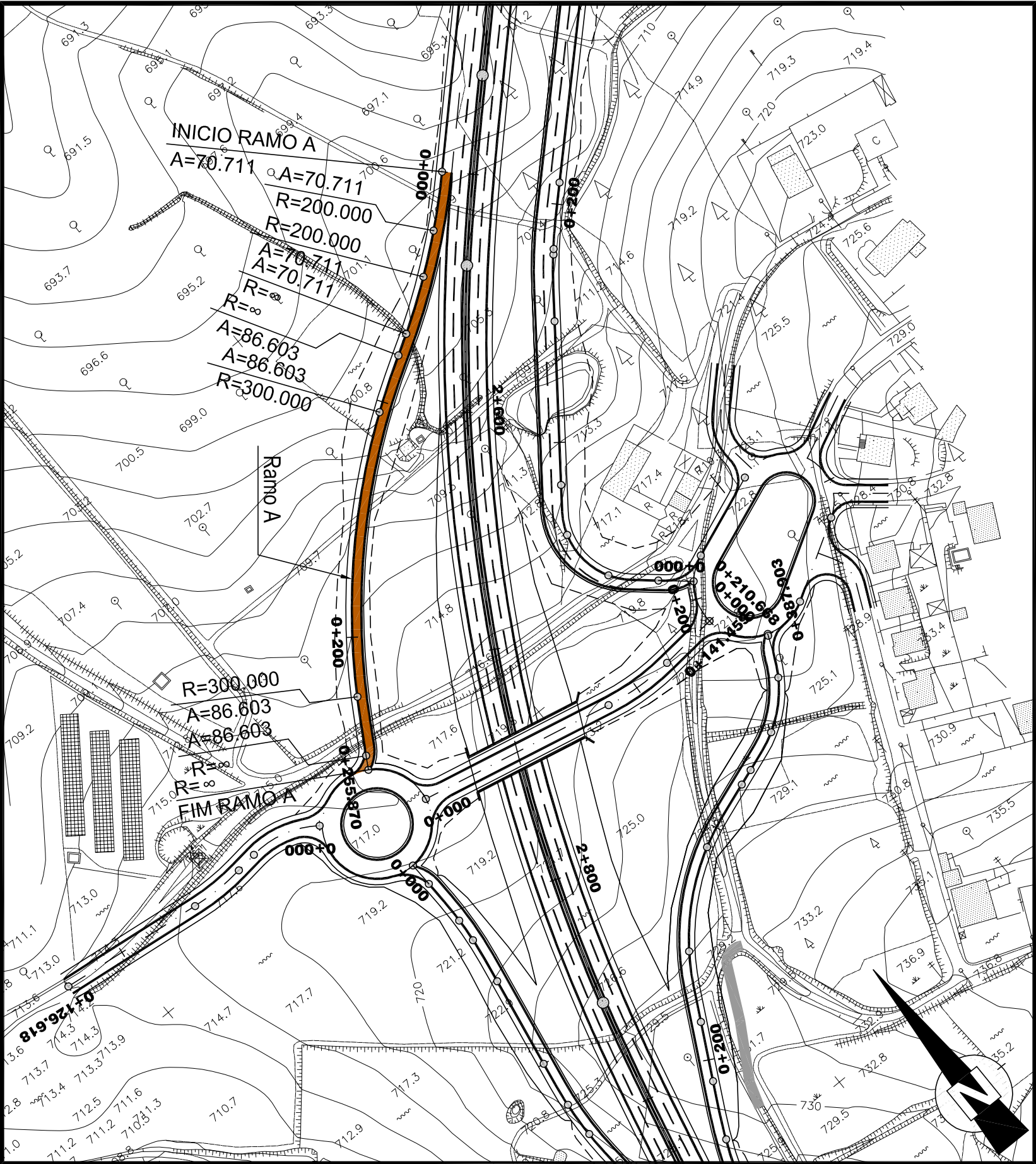
Substituição por:

Designação:

PROJECTO DE EXECUÇÃO  
NÓ DE LIGAÇÃO  
TRACADO  
PLANTA GERAL

Desenho n.º  
TRC 02  
Data: JUN/2008  
Folha: 2/2  
N.º Ordem: 09

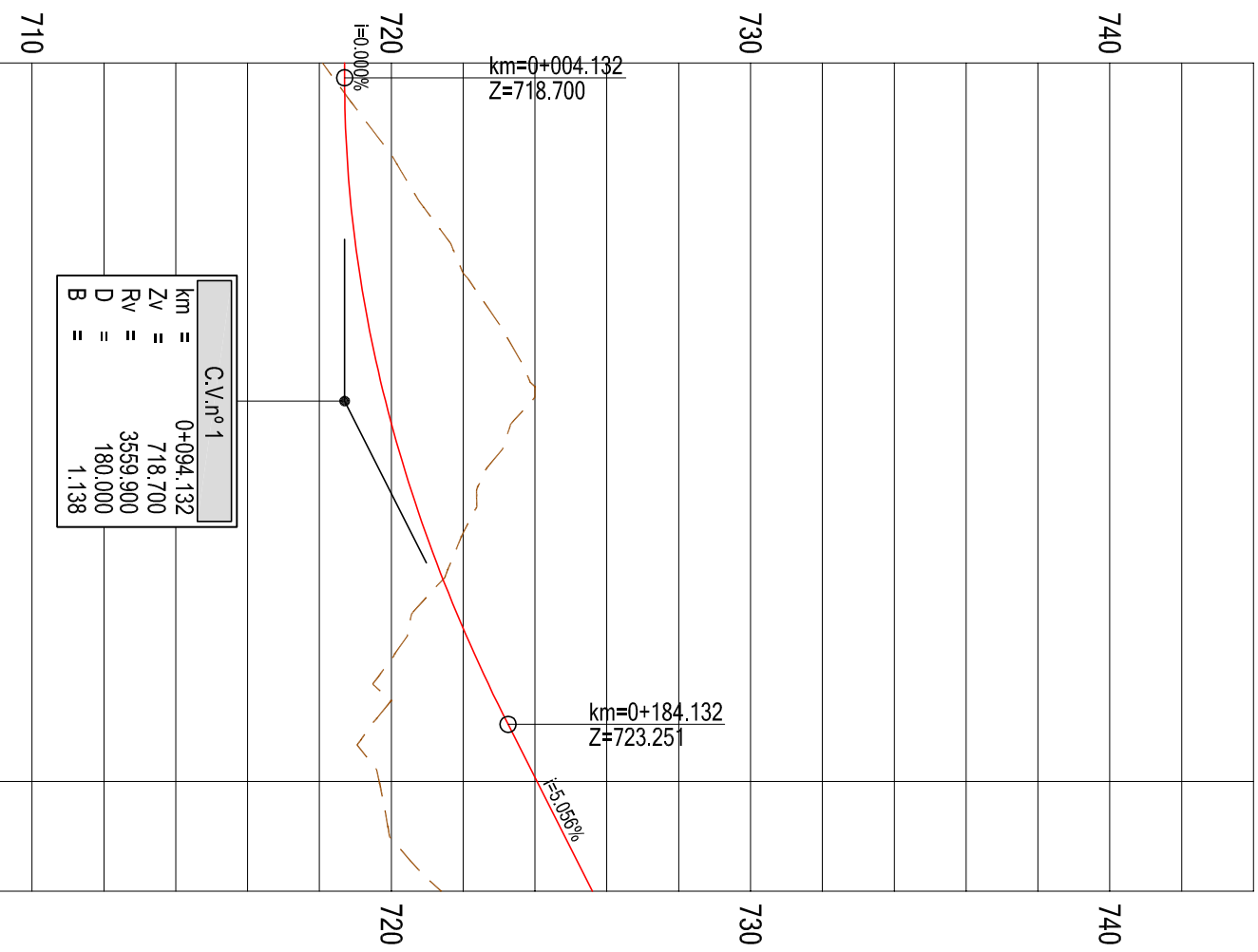
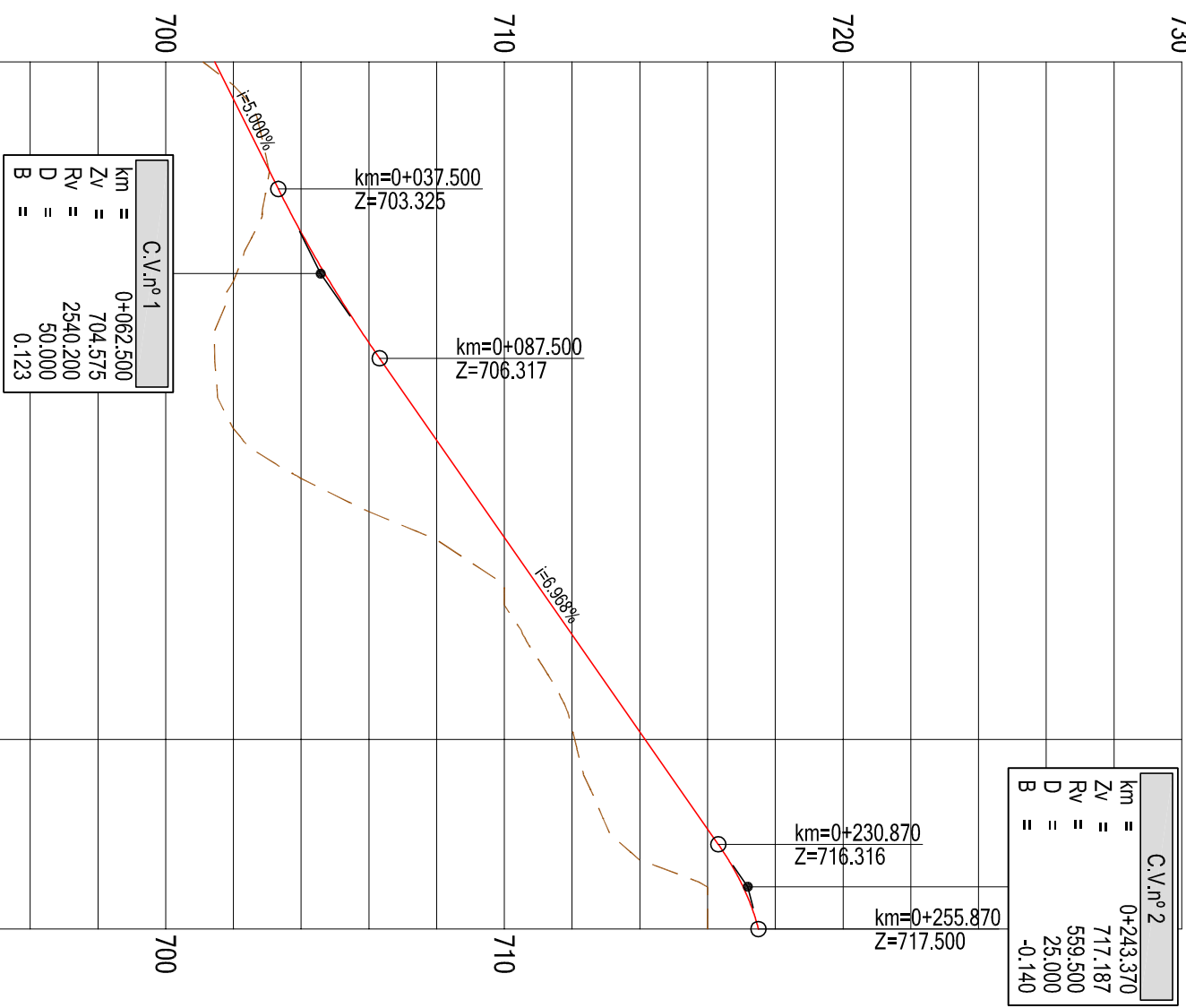




## NÓ DE LIGAÇÃO

Ramo A

Ramo B



PERFIL LONGITUDINAL		QUILOMETRAGEM	
COTAS DA RASANTE		0+000	0+255.870
COTAS DO TERRENO		701.10	702.700
ELEMENTOS DA RASANTE		702.63	703.981
SOBRELEVACÃO (%)		701.63	705.477
PONTOS NOTÁVEIS		701.57	707.188
DIAGRAMA DE CURVAS		704.41	708.930
		709.35	710.672
		710.91	712.414
		712.07	714.156
		712.99	715.899
		716.00	717.318
		716.00	717.497

PERFIL LONGITUDINAL		QUILOMETRAGEM	
COTAS DA RASANTE		0+000	0+230.552
COTAS DO TERRENO		718.09	718.700
ELEMENTOS DA RASANTE		719.96	718.761
SOBRELEVACÃO (%)		721.64	718.995
PONTOS NOTÁVEIS		723.14	719.405
DIAGRAMA DE CURVAS		723.37	719.991
		722.30	720.752
		720.87	721.688
		719.71	722.801
		719.66	724.053
		720.79	725.317
		721.39	725.598

EM CÓPIAS DESTES DESENHOS COM FORMATO DIFERENTE DO A1 ATENDER ÀS ESCALAS GRÁFICAS.

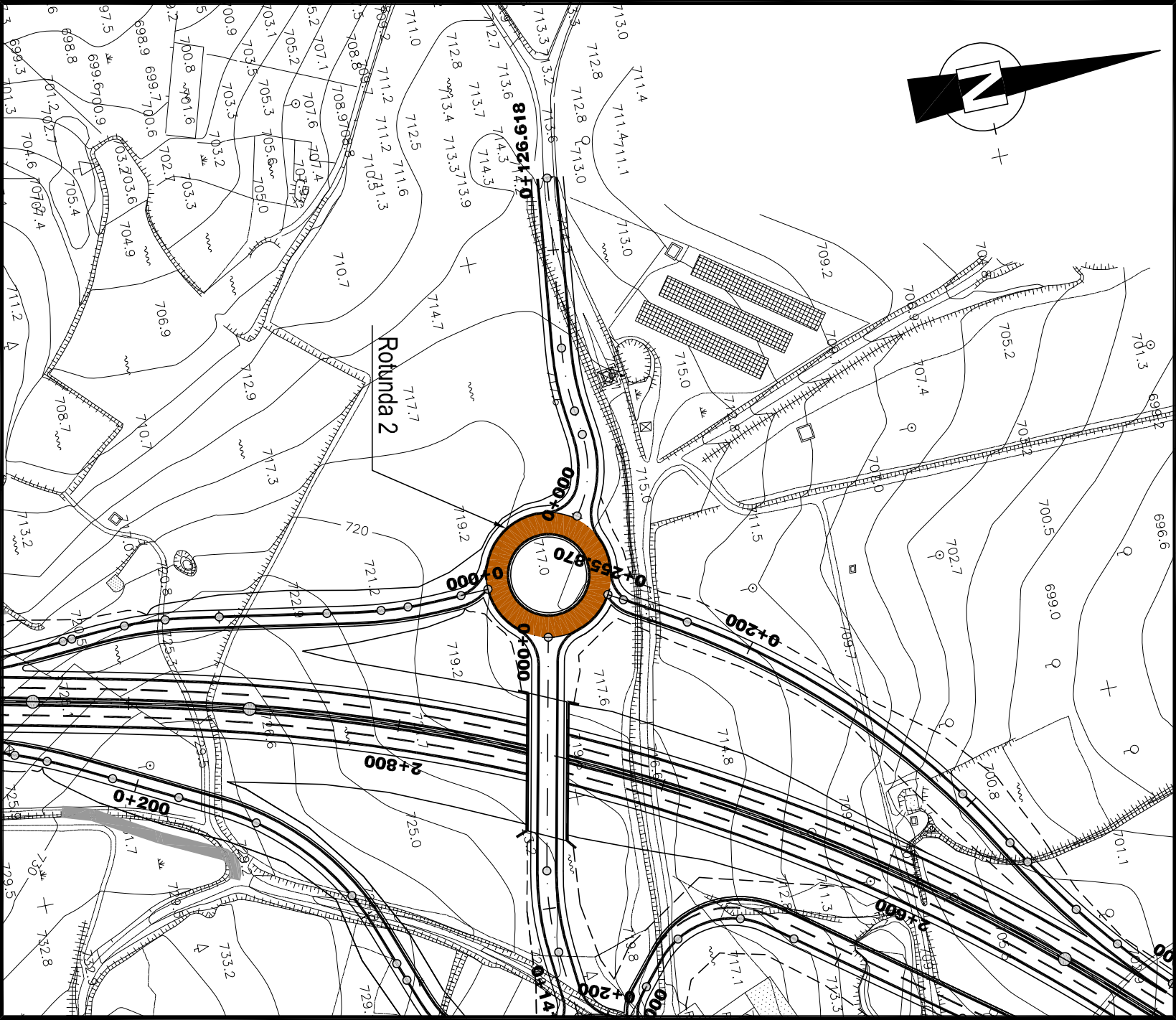
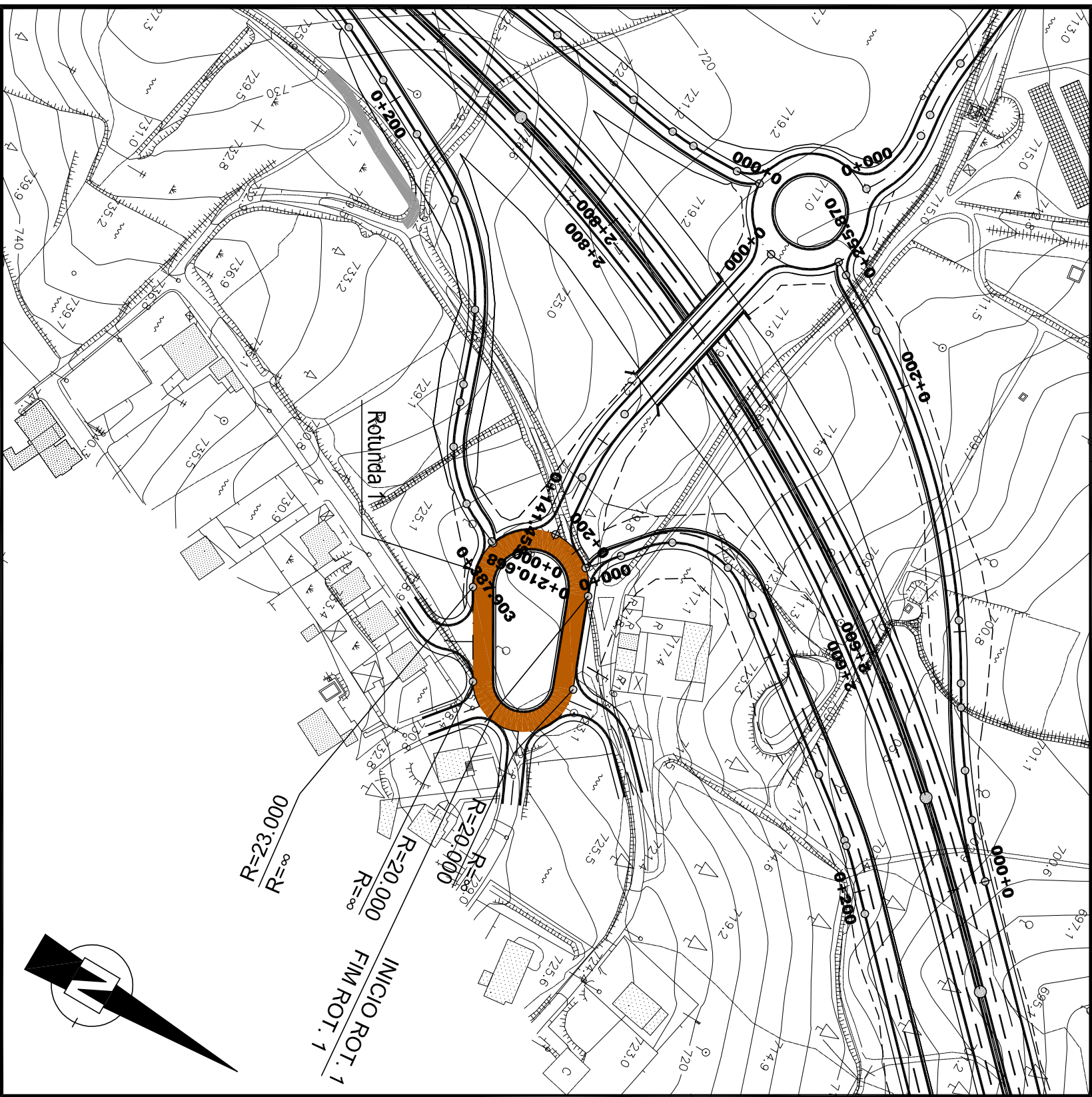
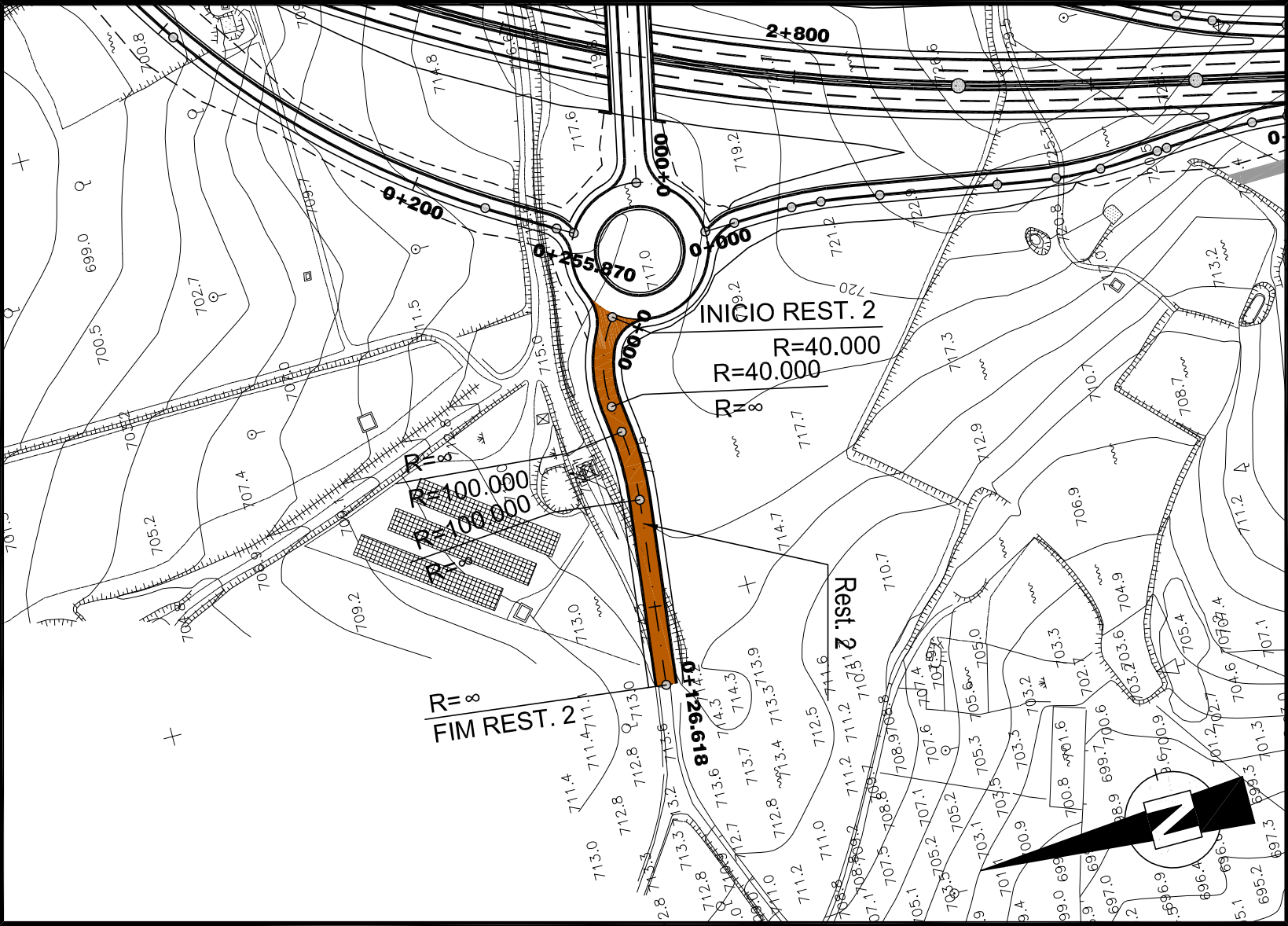
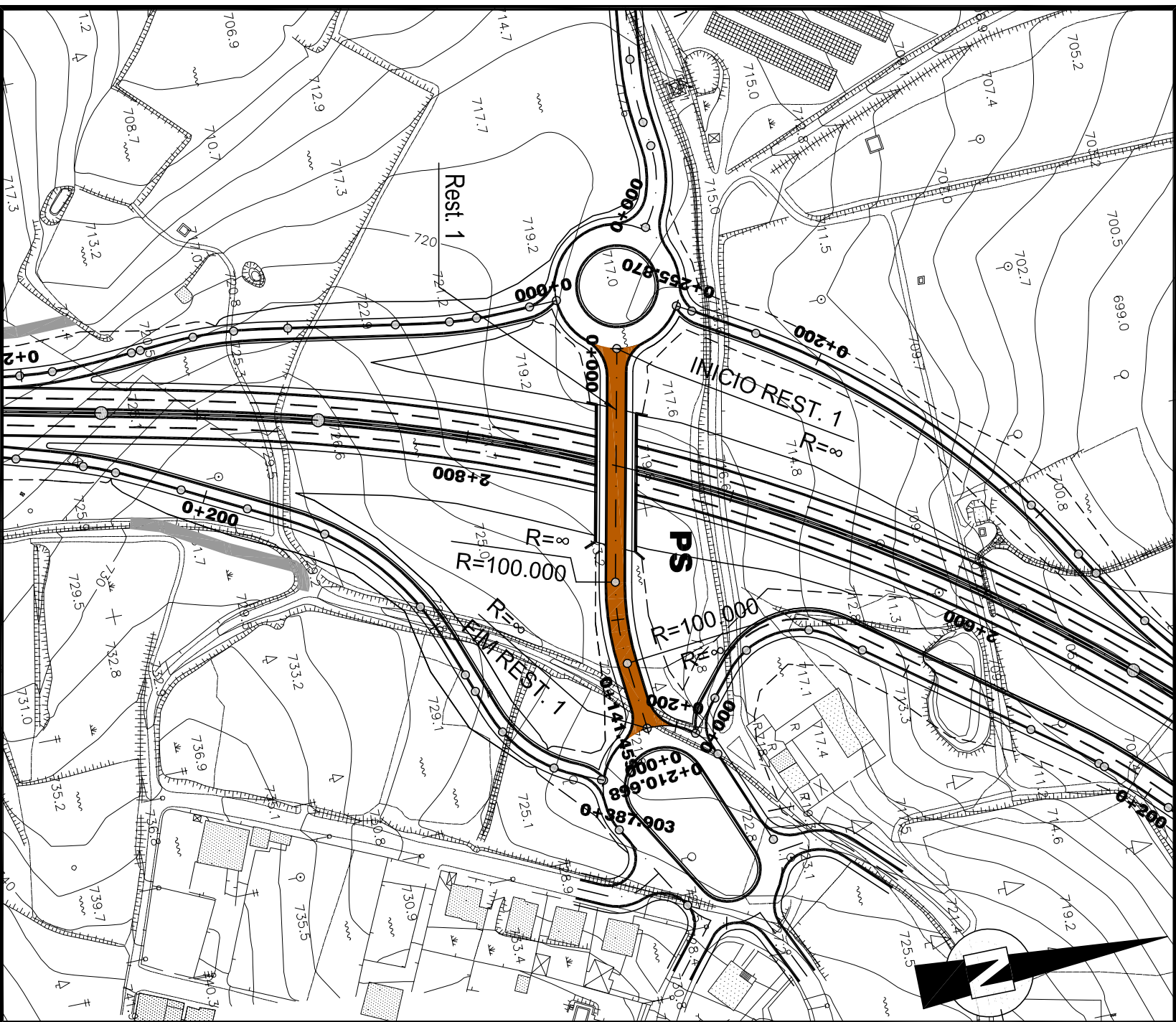
NÓ EM DIAMANTE COM ROTUNDAS  
GEOMETRIA DO TRACADO

Escalas:  
V-1:200  
H-1:2000  
1:2000 0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36 38 40 42 44 46 48 50 52 54 56 58 60 62 64 66 68 70 72 74 76 78 80 82 84 86 88 90 92 94 96 98 100 102 104 106 108 110 112 114 116 118 120 122 124 126 128 130 132 134 136 138 140 142 144 146 148 150 152 154 156 158 160 162 164 166 168 170 172 174 176 178 180 182 184 186 188 190 192 194 196 198 200 202 204 206 208 210 212 214 216 218 220 222 224 226 228 230 232 234 236 238 240 242 244 246 248 250 252 254 256 258 260 262 264 266 268 270 272 274 276 278 280 282 284 286 288 290 292 294 296 298 300 302 304 306 308 310 312 314 316 318 320 322 324 326 328 330 332 334 336 338 340 342 344 346 348 350 352 354 356 358 360 362 364 366 368 370 372 374 376 378 380 382 384 386 388 390 392 394 396 398 400 402 404 406 408 410 412 414 416 418 420 422 424 426 428 430 432 434 436 438 440 442 444 446 448 450 452 454 456 458 460 462 464 466 468 470 472 474 476 478 480 482 484 486 488 490 492 494 496 498 500 502 504 506 508 510 512 514 516 518 520 522 524 526 528 530 532 534 536 538 540 542 544 546 548 550 552 554 556 558 560 562 564 566 568 570 572 574 576 578 580 582 584 586 588 590 592 594 596 598 600 602 604 606 608 610 612 614 616 618 620 622 624 626 628 630 632 634 636 638 640 642 644 646 648 650 652 654 656 658 660 662 664 666 668 670 672 674 676 678 680 682 684 686 688 690 692 694 696 698 700 702 704 706 708 710 712 714 716 718 720 722 724 726 728 730 732 734 736 738 740 742 744 746 748 750 752 754 756 758 760 762 764 766 768 770 772 774 776 778 780 782 784 786 788 790 792 794 796 798 800 802 804 806 808 810 812 814 816 818 820 822 824 826 828 830 832 834 836 838 840 842 844 846 848 850 852 854 856 858 860 862 864 866 868 870 872 874 876 878 880 882 884 886 888 890 892 894 896 898 900 902 904 906 908 910 912 914 916 918 920 922 924 926 928 930 932 934 936 938 940 942 944 946 948 950 952 954 956 958 960 962 964 966 968 970 972 974 976 978 980 982 984 986 988 990 992 994 996 998 1000 1002 1004 1006 1008 1010 1012 1014 1016 1018 1020 1022 1024 1026 1028 1030 1032 1034 1036 1038 1040 1042 1044 1046 1048 1050 1052 1054 1056 1058 1060 1062 1064 1066 1068 1070 1072 1074 1076 1078 1080 1082 1084 1086 1088 1090 1092 1094 1096 1098 1100 1102 1104 1106 1108 1110 1112 1114 1116 1118 1120 1122 1124 1126 1128 1130 1132 1134 1136 1138 1140 1142 1144 1146 1148 1150 1152 1154 1156 1158 1160 1162 1164 1166 1168 1170 1172 1174 1176 1178 1180 1182 1184 1186 1188 1190 1192 1194 1196 1198 1200 1202 1204 1206 1208 1210 1212 1214 1216 1218 1220 1222 1224 1226 1228 1230 1232 1234 1236 1238 1240 1242 1244 1246 1248 1250 1252 1254 1256 1258 1260 1262 1264 1266 1268 1270 1272 1274 1276 1278 1280 1282 1284 1286 1288 1290 1292 1294 1296 1298 1300 1302 1304 1306 1308 1310 1312 1314 1316 1318 1320 1322 1324 1326 1328 1330 1332 1334 1336 1338 1340 1342 1344 1346 1348 1350 1352 1354 1356 1358 1360 1362 1364 1366 1368 1370 1372 1374 1376 1378 1380 1382 1384 1386 1388 1390 1392 1394 1396 1398 1400 1402 1404 1406 1408 1410 1412 1414 1416 1418 1420 1422 1424 1426 1428 1430 1432 1434 1436 1438 1440 1442 1444 1446 1448 1450 1452 1454 1456 1458 1460 1462 1464 1466 1468 1470 1472 1474 1476 1478 1480 1482 1484 1486 1488 1490 1492 1494 1496 1498 1500 1502 1504 1506 1508 1510 1512 1514 1516 1518 1520 1522 1524 1526 1528 1530 1532 1534 1536 1538 1540 1542 1544 1546 1548 1550 1552 1554 1556 1558 1560 1562 1564 1566 1568 1570 1572 1574 1576 1578 1580 1582 1584 1586 1588 1590 1592 1594 1596 1598 1600 1602 1604 1606 1608 1610 1612 1614 1616 1618 1620 1622 1624 1626 1628 1630 1632 1634 1636 1638 1640 1642 1644 1646 1648 1650 1652 1654 1656 1658 1660 1662 1664 1666 1668 1670 1672 1674 1676 1678 1680 1682 1684 1686 1688 1690 1692 1694 1696 1698 1700 1702 1704 1706 1708 1710 1712 1714 1716 1718 1720 1722 1724 1726 1728 1730 1732 1734 1736 1738 1740 1742 1744 1746 1748 1750 1752 1754 1756 1758 1760 1762 1764 1766 1768 1770 1772 1774 1776 1778 1780 1782 1784 1786 1788 1790 1792 1794 1796 1798 1800 1802 1804 1806 1808 1810 1812 1814 1816 1818 1820 1822 1824 1826 1828 1830 1832 1834 1836 1838 1840 1842 1844 1846 1848 1850 1852 1854 1856 1858 1860 1862 1864 1866 1868 1870 1872 1874 1876 1878 1880 1882 1884 1886 1888 1890 1892 1894 1896 1898 1900 1902 1904 1906 1908 1910 1912 1914 1916 1918 1920 1922 1924 1926 1928 1930 1932 1934 1936 1938 1940 1942 1944 1946 1948 1950 1952 1954 1956 1958 1960 1962 1964 1966 1968 1970 1972 1974 1976 1978 1980 1982 1984 1986 1988 1990 1992 1994 1996 1998 2000 2002 2004 2006 2008 2010 2012 2014 2016 2018 2020 2022 2024 2026 2028 2030 2032 2034 2036 2038 2040 2042 2044 2046 2048 2050 2052 2054 2056 2058 2060 2062 2064 2066 2068 2070 2072 2074 2076 2078 2080 2082 2084 2086 2088 2090 2092 2094 2096 2098 2100 2102 2104 2106 2108 2110 2112 2114 2116 2118 2120 2122 2124 2126 2128 2130 2132 2134 2136 2138 2140 2142 2144 2146 2148 2150 2152 2154 2156 2158 2160 2162 2164 2166 2168 2170 2172 2174 2176 2178 2180 2182 2184 2186 2188 2190 2192 2194 2196 2198 2200 2202 2204 2206 2208 2210 2212 2214 2216 2218 2220 2222 2224 2226 2228 2230 2232 2234 2236 2238 2240 2242 2244 2246 2248 2250 2252 2254 2256 2258 2260 2262 2264 2266 2268 2270 2272 2274 2276 2278 2280 2282 2284 2286 2288 2290 2292 2294 2296 2298 2300 2302 2304 2306 2308 2310 2312 2314 2316 2318 2320 2322 2324 2326 2328 2330 2332 2334 2336 2338 2340 2342 2344 2346 2348 2350 2352 2354 2356 2358 2360 2362 2364 2366 2368 2370 2372 2374 2376 2378 2380 2382 2384 2386 2388 2390 2392 2394 2396 2398 2400 2402 2404 2406 2408 2410 2412 2414 2416 2418 2420 2422 2424 2426 2428 2430 2432 2434 2436 2438 2440 2442 2444 2446 2448 2450 2452 2454 2456 2458 2460 2462 2464 2466 2468 2470 2472 2474 2476 2478 2480 2482 2484 2486 2488 2490 2492 2494 2496 2498 2500 2502 2504 2506 2508 2510 2512 2514 2516 2518 2520 2522 2524 2526 2528 2530 2532 2534 2536 2538 2540 2542 2544 2546 2548 2550 2552 2554 2556 2558 2560 2562 2564 2566 2568 2570 2572 2574 2576 2578 2580 2582 2584 2586 2588 2590 2592 2594 2596 2598 2600 2602 2604 2606 2608 2610 2612 2614 2616 2618 2620 2622 2624 2626 2628 2630 2632 2634 2636 2638 2640 2642 2644 2646 2648 2650 2652 2654 2656 2658 2660 2662 2664 2666 2668 2670 2672 2674 2676 2678 2680 2682 2684 2686 2688 2690 2692 2694 2696 2698 2700 2702 2704 2706 2708 2710 2712 2714 2716 2718 2720 2722 2724 2726 2728 2730 2732 2734 2736 2738 2740 2742 2744 2746 2748 2750 2752 2754 2756 2758 2760 2762 2764 2766 2768 2770 2772 2774 2776 2778 2780 2782 2784 2786 2788 2790 2792 2794 2796 2798 2800 2802 2804 2806 2808 2810 2812 2814 2816 2818 2820 2822 2824 2826 2828 2830 2832 2834 2836 2838 2840 2842 2844 2846 2848 2850 2852 2854 2856 2858 2860 2862 2864 2866 2868 2870 2872 2874 2876 2878 2880 2882 2884 2886 2888 2890 2892 2894 2896 2898 2900 2902 2904 2906 2908 2910 2912 2914 2916 2918 2920 2922 2924 2926 2928 2930 2932 2934 2936 2938 2940 2942 2944 2946 2948 2950 2952 2954 2956 2958 2960 2962 2964 2966 2968 2970 2972 2974 2976 2978 2980 2982 2984 2986 2988 2990 2992 2994 2996 2998 3000 3002 3004 3006 3008 3010 3012 3014 3016 3018 3020 3022 3024 3026 3028 3030 3032 3034 3036 3038 3040 3042 3044 3046 3048 3050 3052 3054 3056 3058 3060 3062 3064 3066 3068 3070 3072 3074 3076 3078 3080 3082 3084 3086 3088 3090 3092 3094 3096 3098 3100 3102 3104 3106 3108 3110 3112 3114 3116 3118 3120 3122 3124 3126 3128 3130 3132 3134 3136 3138 3140 3142 3144 3146 3148 3150 3152 3154 3156 3158 3160 3162 3164 3166 3168 3170 3172 3174 3176 3178 3180 3182 3184 3186 3188 3190 3192 3194 3196 3198 3200 3202 3204 3206 3208 3210 3212 3214 3216 3218 3220 3222 3224 3226 3228 3230 3232 3234 3236 3238 3240 3242 3244 3246 3248 3250 3252 3254 3256 3258 3260 3262 3264 3266 3268 3270 3272 3274 3276 3278 3280 3282 3284 3286 3288 3290 3292 3294 3296 3298 3300 3302 3304 3306 3308 3310 3312 3314 3316 3318 3320 3322 3324 3326 3328 3330 3332 3334 3336 3338 3340 3342 3344 3346 3348 3350 3352 3354 3356 3358 3360 3362 3364 3366 3368 3370 3372 3374 3376 3378 3380 3382 3384 3386 3388 3390 3392 3394 3396 3398 3400 3402 3404 3406 3408 3410 3412 3414 3416 3418 3420 3422 3424 3426 3428 3430 3432 3434 3436 3438 3440 3442 3444 3446 3448 3450 3452 3454 3456 3458 3460 3462 3464 3466 3468 3470 3472 3474 3476 3478 3480 3482 3484 3486 3488 3490 3492 3494 3496 3498 3500 3502 3504 3506 3508 3510 3512 3514 3516 3518 3520 3522 3524 3526 3528 3530 3532 3534 3536 3538 3540 3542 3544 3546 3548 3550 3552 3554 3556 3558 3560 3562 3564 3566 3568 3570 3572 3574 3576 3578 3580 3582 3584 3586 3588 3590 3592 3594 3596 3598 3600 3602 3604 3606 3608 3610 3612 3614 3616 3618 3620 3622 3624 3626 3628 3630 3632 3634 3636 3638 3640 3642 3644 3646 3648 3650 3652 3654 3656 3658 3660 3662 3664 3666 3668 3670 3672 3674 3676 3678 3680 3682 3684 3686 3688 3690 3692 3694 3696 3698 3700 3702 3704 3706 3708 3710 3712 3714 3716 3718 3720 3722 3724 3726 3728 3730 3732 3734 3736 3738 3740 3742 3744 3746 3748 3750 3752 3754 3756 3758 3760 3762 3764 3766 3768 3770 3772 3774 3776 3778 3780 3782 3784 3786 3788 3790 3792 3794 3796 3798 3800 3802 3804 3806 3808 3810 3812 3814 3816 3818 3820 3822 3824 3826 3828 3830 3832 3834 3836 3838 3840 3842 3844 3846 3848 3850 3852 3854 3856 3858 3860 3862 3864 3866 3868 3870 3872 3874 3876 3878 3880 3882 3884 3886 3888 3890 3892 3894 3896 3898 3900 3902 3904 3906 3908 3910 3912 3914 3916 3918 3920 3922 3924 3926 3928 3930 3932 3934 3936 3938 3940 3942 3944 3946 3948 3950 3952 3954 3956 3958 3960 3962 3964 3966 3968 3970 3972 3974 3976 3978 3980 3982 3984 3986 3988 3990 3992 3994 3996 3998 4000 4002 4004 4006 4008 4010 4012 4014 4016 4018 4020 4022 4024 4026 4028 4030 4032 4034 4036 4038 4040 4042 4044 4046 4048 4050 4052 4054 4056 4058 4060 4062 4064 4066 4068 4070 4072 4074 4076 4078 4080 4082 4084 4086 4088 4090 4092 4094 4096 4098 4100 4102 4104 4106 4108 4110 4112 4114 4116 4118 4120 4122 4124 4126 4128 4130 4132 4134 4136 4138 4140 4142 4144 4146 4148 4150 4152 4154 4156 4158 4160 4162 4164 4166 4168

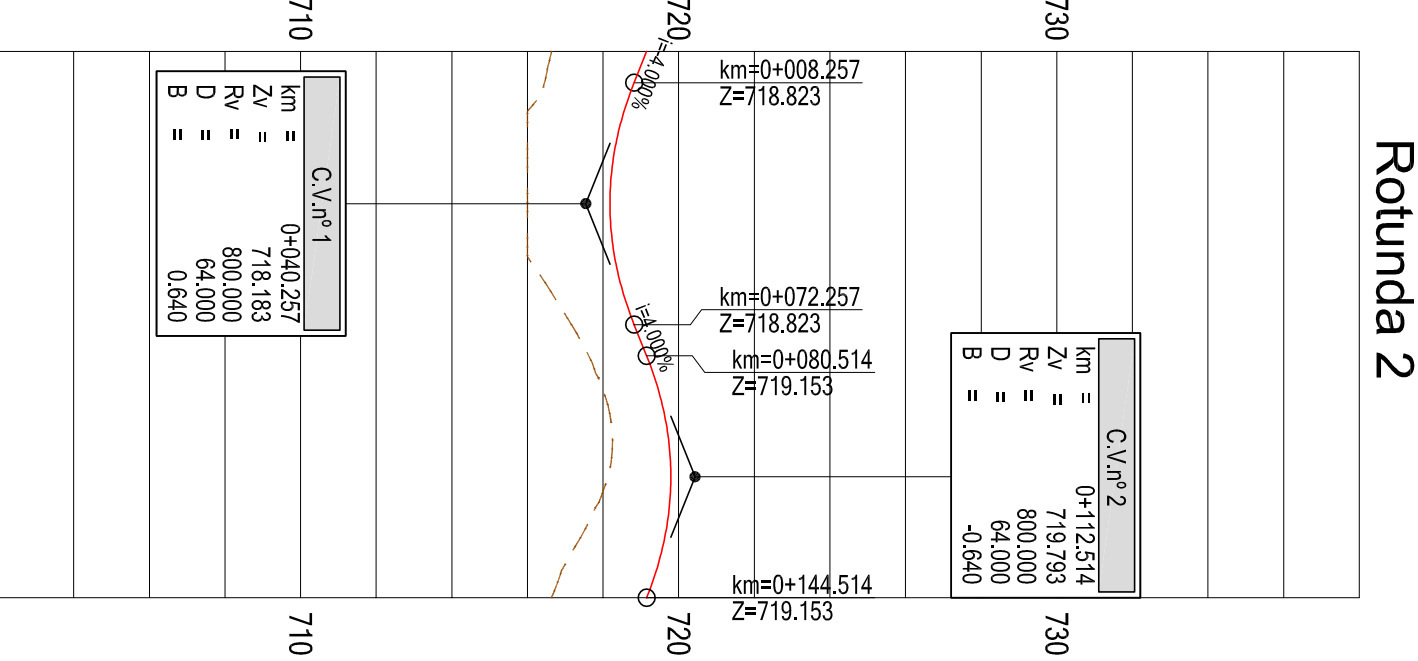
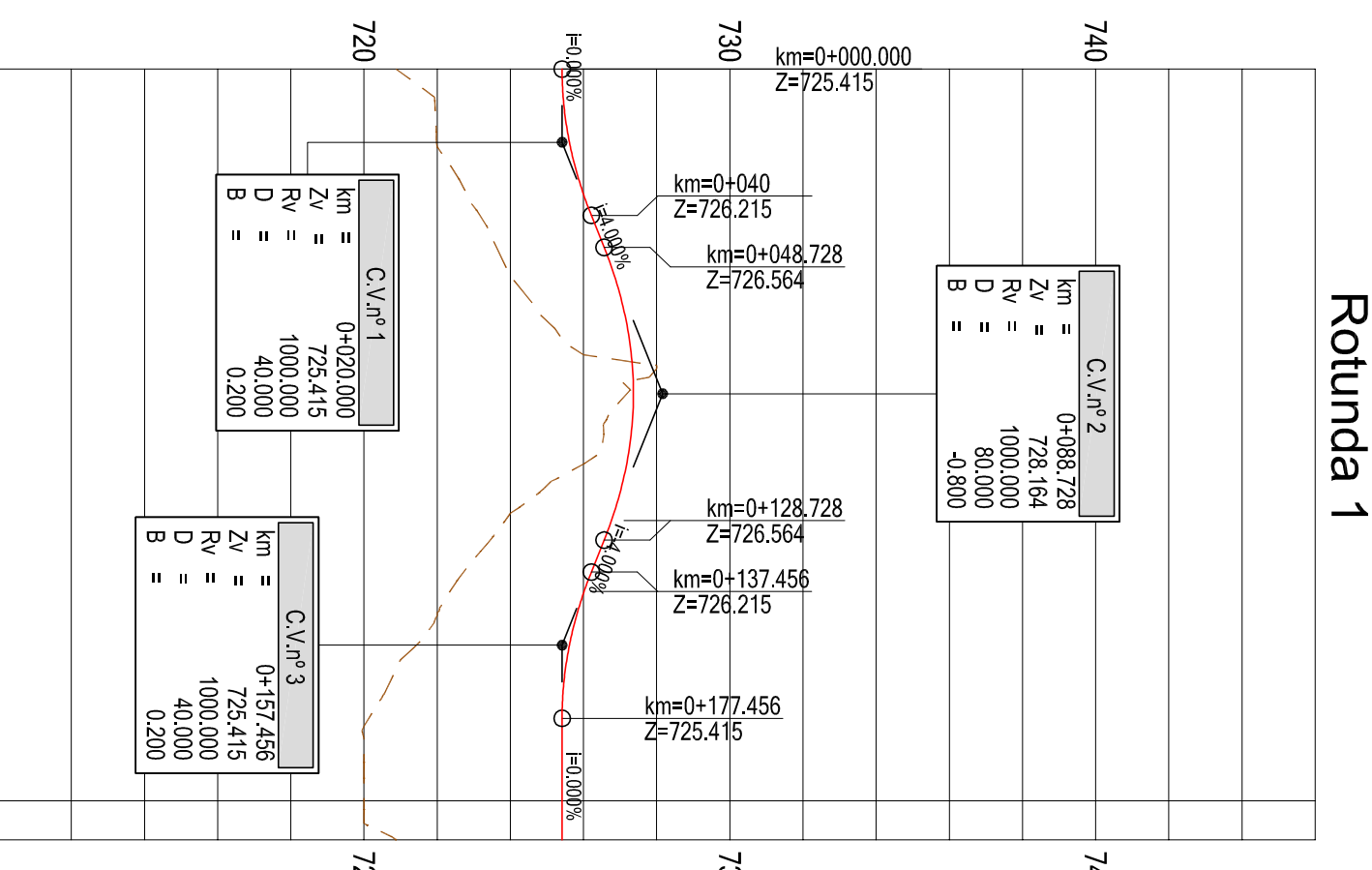
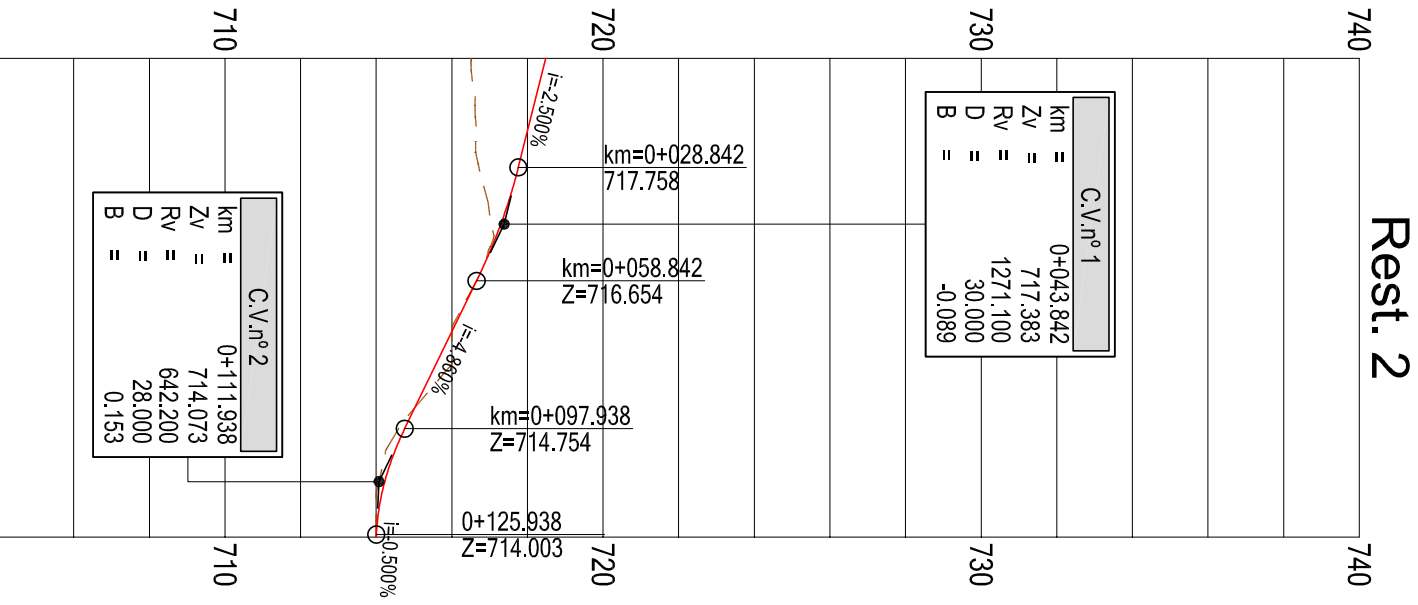
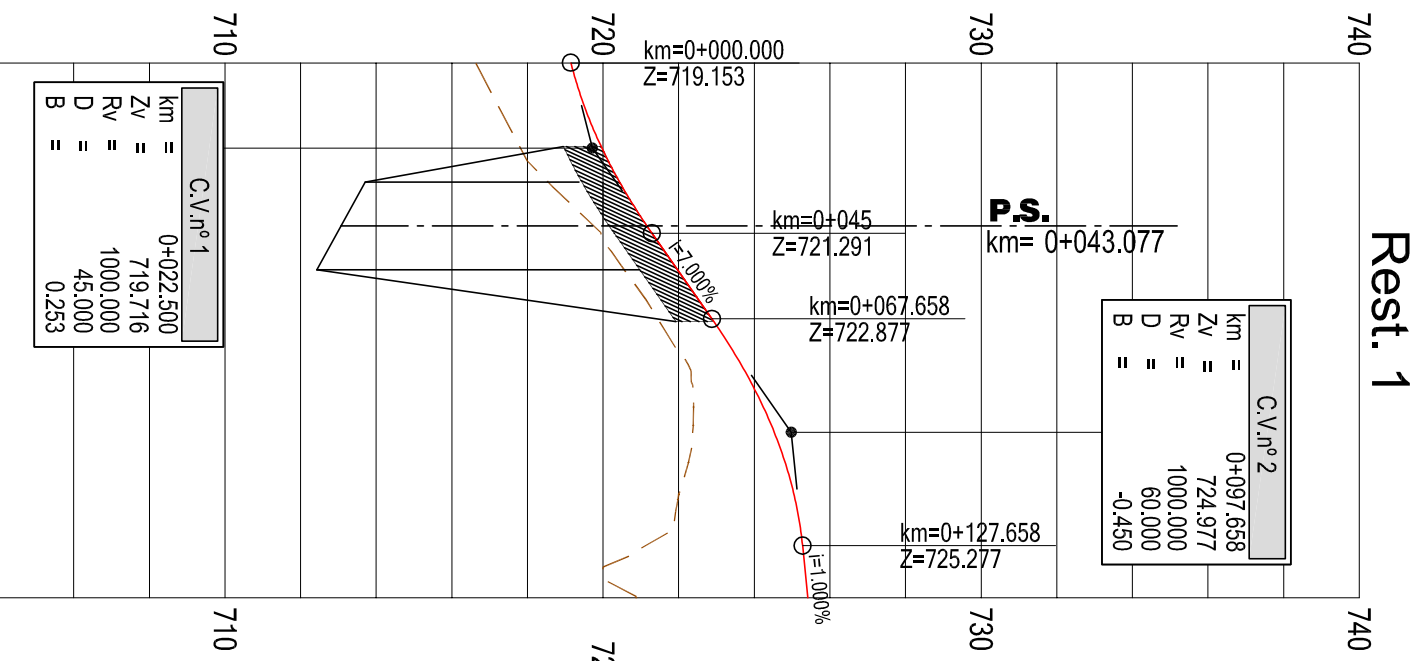








## NÓ DE LIGAÇÃO



QUILOMETRAGEM		0+000	0+141,460
COTAS DA RASANTE		719.153	720.091
COTAS DO TERRENO		717.95	721.641
ELEMENTOS DA RASANTE		R=1000,000 D=45,000 Zv=718,716 D=45,000 B=0,233	R=1000,000 D=60,000 Zv=721,59 D=60,000 B=0,233
SOBRELEVACÃO (%)		4,0%	2,3%
PONTOS NOTÁVEIS		0+086,075	0+116,453
DIAGRAMA DE CURVAS		L=86,075 D=30,077 R=60	L=25,007 D=30,077 R=60

QUILOMETRAGEM		0+000	0+26,618
COTAS DA RASANTE		718.479	717.053
COTAS DO TERRENO		716.51	715.869
ELEMENTOS DA RASANTE		R=1271,100 D=2,500% Zv=717,100 D=2,500% B=0,153	R=642,200 D=4,860% Zv=714,754 D=4,860% B=0,153
SOBRELEVACÃO (%)		2,5%	2,5%
PONTOS NOTÁVEIS		0+003,995	0+063,735
DIAGRAMA DE CURVAS		L=308,116 D=30,078 R=60	L=62,883 D=30,078 R=60

QUILOMETRAGEM		0+000	0+200
COTAS DA RASANTE		725.415	725.415
COTAS DO TERRENO		722.27	726.614
ELEMENTOS DA RASANTE		R=1000,000 D=40,000 Zv=722,27 D=40,000 B=0,200	R=1000,000 D=80,000 Zv=726,614 D=80,000 B=0,200
SOBRELEVACÃO (%)		1,0%	2,3%
PONTOS NOTÁVEIS		0+046,202	0+083,752
DIAGRAMA DE CURVAS		L=37,550 D=30,078 R=60	L=37,550 D=30,078 R=60

QUILOMETRAGEM		0+000	0+144,514
COTAS DA RASANTE		719.153	718.328
COTAS DO TERRENO		716.00	718.932
ELEMENTOS DA RASANTE		R=800,000 D=64,000 Zv=716,163 D=64,000 B=0,640	R=800,000 D=64,000 Zv=718,932 D=64,000 B=0,640
SOBRELEVACÃO (%)		2,3%	2,3%
PONTOS NOTÁVEIS		0+040,257	0+144,514
DIAGRAMA DE CURVAS		L=40,257 D=30,077 R=60	L=104,257 D=30,077 R=60

EM CÓPIAS DESTA DESENHO COM FORMATO DIFERENTE DO A1 ATENDER ÀS ESCALAS GRÁFICAS.

Folha complementar:

## NÓ EM DIAMANTE COM ROTUNDAS

### GEOMETRIA DO TRACADO

Escala:

Projeto:

Substituir:

Designação:

Desenho n.º

PROJECTO DE EXECUÇÃO  
NÓ DE LIGAÇÃO  
TRACADO  
PLANTA E PERFIL LONGITUDINAL  
REESTABELECIMENTOS 1 e 2, ROTUNDAS 1 e 2

TRC 03

Data: JUN/2008

Folha: 3/3

Nº Ordem: 12